

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

**KABLOSUZ ÇOKLU-ORTAM ALGILAYICI AĞLARINDA
SERVİS KALİTESİ SAĞLAYACAK ÇAPRAZ KATMAN
PROTOKOLÜ GELİŞTİRİLMESİ**

ALPER KAMİL DEMİR

KOCAELİ 2013

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

KABLOSUZ ÇOKLU-ORTAM ALGILAYICI AĞLARINDA
SERVİS KALİTESİ SAĞLAYACAK ÇAPRAZ KATMAN
PROTOKOLÜ GELİŞTİRİLMESİ

ALPER KAMİL DEMİR

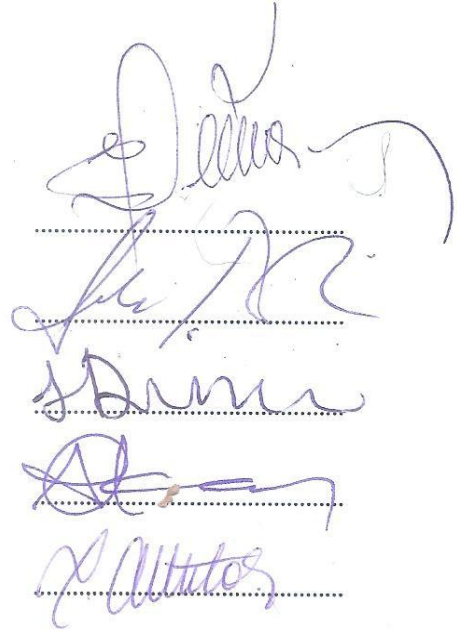
Yrd.Doç.Dr. H. Engin DEMİRAY
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Şebnem BAYDERE
Jüri Üyesi, Yeditepe Üniv.

Prof.Dr. Hasan DİNÇER
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Adnan KAVAK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. D. Turgay ALTILAR
Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 12.07.2013

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Kablosuz algılayıcı ağlarında çalışan gerçek-zamanlı ve çoklu-ortam uygulamaları servis kalitesine (QoS) ihtiyaç duyarlar. Bu ağlarda QoS sağlayacak protokol ve algoritmalar henüz ortaya çıkmaktadır. Bu doktora tezi kapsamında çapraz-katman tasarımı kullanılarak kablosuz algılayıcı ağlarında QoS sağlayabilecek bir mimari ve bu mimari üzerinde QoS sağlayabilecek bir protokol önerilmiştir. Sonrasında, benzetim yazılımı aracılığı ile önerilen protokolün performans analizi ve değerlendirmeleri yapılmıştır. Bununla birlikte, görüntü içerisinde yer alan objeler önerilen protokol ile bir kablosuz algılayıcı ağı üzerinden iletilmiştir. Yapılan çalışmalar önerilen protokolün kablosuz algılayıcı ağlarında QoS sağlayabildiğini göstermektedir.

Bu fırsatı hayatımda, eğitim ve öğrenim sürecimde bana yol gösteren, ilham kaynağı olan, destek veren ve yanımda yer alan herkese teşekkürlerimi sunmak için kullanıyorum. Hiçbir kelime ve cümle bu teşekkürleri sunmaya layıkıyla yeterli değildir.

Öncelikle doktora danışmanlığımı yürüten Yrd. Doç Dr. H. Engin Demiray'a ve doktora montörlüğünü gönüllü yürüten Prof. Dr. Şebnem Baydere'ye teşekkürlerimi arz ederim.

Engin Hocam doktora çalışmalarım sürecinde manevi desteğini esirgemedi ve sahip çıktı. Akademik ve özel sektör tecrübelerini paylaşarak hayata dair ufukumun genişlemesini sağladı. En zor anlarımda bile bana desteğinizi sunduğunuz için size ne kadar teşekkür etsem azdır. Size çok teşekkür ederim, Engin Hocam.

En özel teşekkürümü Şebnem Hocama sunmaktan mutluluk duyarım. Doktora danışmanım olmadığı halde doktora çalışmamın bilimsel standartlarda ve temeller üzerine kurulması için yalnızca bana yol göstermeyip aynı zamanda Yeditepe Üniversitesi'nin kaynaklarından yararlanmamı da sağladı. Doktora tezimin olgunlaşmasını sağlamak için bana destek ve ilham kaynağı oldu. Probleme ve detaylara odaklanmanın yanı sıra mükemmel vizyona, enerjiye ve araştırma şevkine sahip olmasını öğretti. Doktoradan sonra da sizin standartlarınızda çalışan bir araştırmacı ve bilim insanı olmaktan mutluluk duyacağım. Size çok teşekkür ederim, Şebnem Hocam.

Doktora Tez izleme komitemde yer aldığı ve tez çalışma sınavlarının değerlendirilmesinde desteğini gösteren Prof. Dr. Hasan Dinçer'e çok teşekkür ederim. Doktora çalışmalarım bana güveninizi ve desteğinizi sürekli gösterdiniz. Tez savunma jürimde yer alan ve tezimle ilgili düzeltmelerde yol gösteren Prof. Dr. Adnan Kavak'a ve Doç Dr. D. Turgay Altılar'a çok teşekkür ederim.

Birçok arkadaşım sosyal ve eğitim hayatımda yanımda yer aldılar. Onların sevgisi ve arkadaşlıkları bu hayatı daha güzel yaşamama vesile oldu ve olmaya devam etmekte. Hepinize çok teşekkür ederim.

Eğitim ve öğrenim hayatım boyunca birçok öğretmenim oldu. Onlara bilgi dolu bir dünya kazandırdıkları için sonsuz teşekkürlerimi iletiyorum. Bu öğretmenlerin en başında annem Hasibe ve babam Süleyman yer almaktadır. Hayatım boyunca bana sevgi ve desteklerini ifade edilemez düzeyde gösterdiler ve göstermeye devam ediyorlar. Bana aile olmanın güzelliğini yaşattılar. Bu ailenin bir ferdi olarak bana sevgisini ve desteğini gösteren ablam Zerrin'e de çok teşekkür ederim.

Son olarak ve en önemlisi eşim Hülya'ya ve oğlum Pamir Boran'a kucak dolusu sevgi ve teşekkürlerimi sunarım. Bana olan sevgileri, sabırları ve duyarlılıkları bu süreci atlatmamda en büyük destek oldu. Bu hayatı benimle paylaştığımız için sizi tahmininizden daha çok takdir ediyorum ve seviyorum.

Mayıs - 2013

Alper Kamil Demir

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR.....	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER VE KATKILAR.....	2
1.1. Konvansiyonel Algılayıcı Ağları'nın Kısa Tarihçesi	2
1.2. Mikro Elektro Mekanik Sistem (MEMS) ve Nano Elektro Mekanik Sistem (NEMS) Teknolojilerindeki Gelişmeler	3
1.3. Kablosuz Algılayıcı Ağları (KAA).....	4
1.4. Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken (BMOY) Çoklu-ortam Teknolojilerindeki Gelişmeler	5
1.5. Kablosuz Çoklu-ortam Algılayıcı Ağları (KÇAA).....	6
1.6. Kablosuz Çoklu-ortam Algılayıcı Ağları Uygulamaları	6
1.7. Kablosuz Çoklu-ortam Algılayıcı Ağları'nda Sorunlar ve Problemler	7
1.8. Problem Tanımı	9
1.9. Katkılar.....	10
1.10. Tezin Organizasyonu.....	13
2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR	15
2.1. KAA ve KÇAA Üzerinde Çapraz-Katman Tasarım Çalışmaları	15
2.2. KAA ve KÇAA Üzerinde QoS Çalışmaları	17
2.3. KAA ve KÇAA Üzerinde Çapraz-Katman Tasarım ile QoS Çalışmaları.....	18
3. ÇAPRAZ-KATMANLI QoS MİMARİSİ (QoSMOS).....	22
3.1. Çapraz-katmanlı Haberleşme Modülü (XLCP).....	23
4. ÇAPRAZ-KATMANLI HABERLEŞME PROTOKOLÜ (XLCP)	25
4.1. Dağıtık Görev Döngüsü	27
4.2. Gönderici İletim Soruşturması.....	28
4.3. Alıcı-tabanlı QoS-maliyet Saptaması	29
4.4. Alıcı QoS-maliyet Geribildirimi	31
4.5. Veri İletimi	32
4.6. Alındı Bildirimi	34
5. XLCP'NİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ.....	35
5.1. Benzetim Ortamı.....	35
5.2. QoS Performans Metrikleri	38
5.3. Tampon Alan ile Performans Değerlendirmesi	39
5.4. Çekişme Zaman Dilimi Uzunluğu ile Performans Değerlendirmesi	43
5.5. Tampon Alanı ve Çekişme Zaman Dilimi ile Birlikte Performans Değerlendirmesi.....	47

5.6.	Maliyet Fonksiyonu İçindeki Maksimum Veri Oranı Eşik Değeri ile Performans Değerlendirmesi	51
5.7.	Maliyet Fonksiyonu İçindeki Maksimum Tampon Uzunluğu Eşik Değeri ile Performans Değerlendirmesi	52
5.8.	Maliyet Fonksiyonu İçindeki Minimum SNR Eşik Değeri ile Performans Değerlendirmesi	53
5.9.	Ağırlıklı Dairesel Sıralı Planlayıcı ile Performans Değerlendirmesi	54
5.10.	Farklı Fiziksel Katman Yayılma Modelleri ile Performans Değerlendirmesi	58
6.	XLCP'NİN KARŞILAŞTIRMALI PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	64
6.1.	Benzetim Ortamı	64
6.2.	QoS Performans Metrikleri	65
6.3.	XLCP'nin MMSPEED ve GEO-FLOOD ile Karşılaştırmalı Performans Değerlendirmesi	65
7.	XLCP İLE GÜVENİLİR GÖRÜNTÜ İLETİMİ	71
7.1.	İlgili Çalışmalar	73
7.2.	Benzetim Ortamı	74
7.3.	QoS Performans Metrikleri	77
7.4.	Performans Değerlendirmesi	77
7.4.1.	Makro-blok güvenilirlik sonuçları ve analizi	78
7.4.2.	OTR sonuçları ve analizi	80
7.5.	Sonuçlar ve Öneriler	84
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	86
8.1.	Sonuçlar	86
8.2.	Öneriler	88
	KAYNAKLAR	91
	KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	108
	ÖZGEÇMİŞ	109

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. QoS MOS mimarisi	22
Şekil 3.2. Genel QoS MOS Veri Paketi	23
Şekil 3.3. XLCM'in Temel Elemanları	23
Şekil 4.1. XLCP'de Paket Değişim Sıralaması	27
Şekil 4.2. CSMA _{RTSI} Algoritması	29
Şekil 4.3. QoS-maliyet Algoritması	30
Şekil 4.4. CSMA _{CTSQ} Algoritması	32
Şekil 4.5. CSMA _{DATA} Algoritması	33
Şekil 4.6. CSMA _{ACK} Algoritması	34
Şekil 5.1. Örnek Algılayıcı Ağı Topolojisi	37
Şekil 5.2. Tampon Alan Uzunluğunun QoS Etkisi	40
Şekil 5.3. Çekişme Zaman Dilimi Uzunluğunun QoS Etkisi	44
Şekil 5.4. Tampon Alanının ve Çekişme Zaman Diliminin Birlikte QoS Etkisi	48
Şekil 5.5. Maliyet Fonksiyonu İçindeki Maksimum Veri Oranının QoS Etkisi	51
Şekil 5.6. Maliyet Fonksiyonu İçindeki Maksimum Tampon Uzunluğunun QoS Etkisi	52
Şekil 5.7. Maliyet Fonksiyonu İçindeki Minimum SNR'ın QoS Etkisi	53
Şekil 5.8. Ağırlıklı Dairesel Planlayıcının QoS Etkisi	55
Şekil 5.9. Fiziksel Katman Yayılma Modelinin QoS Etkisi	60
Şekil 6.1. XLCP, MMSPEED ve GEO-FLOOD Karşılaştırması	66
Şekil 7.1. Örnek Görüntüler	75
Şekil 7.2. Örnek Nesne İzleme KÇAA Arazisi	76
Şekil 7.3. Makro-blok Güvenirlik Sonuçları	79
Şekil 7.4. Farklı OTR Değerleri İçin Alınan Görüntüler	81
Şekil 7.5. OTR Sonuçları	83

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. QoS sağlama yeteneği olan çapraz-katman tasarımı protokoller.....	21
Tablo 5.1. Genel Benzetim Parametreleri	36
Tablo 5.2. XLCP Benzetim Parametreleri (x=rtss, ctsq, data, ack)	37
Tablo 7.1. Güvenilir Görüntü İletimi için Genel Benzetim Parametreleri.....	76

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

Hz	: Hertz
s	: Saniye
ms	: Mili Saniye
µs	: Mikro Saniye

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ADS	: Ağırlıklı Dairesel Sıralı (Weighted Round Robing)
AWGN	: Additive White Gaussian Noise (Eklemeli Beyaz Gauss Gürültü)
BMOY	: Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken
BPSK	: Bipolar Phase Shift Key (Çift-kutuplu Faz Kaydırmalı Anahtar)
CA	: Collision Avoidance (Çarpışmadan Kaçınma)
CCA	: Clear Channel Assesment (Temiz Kanal Değerlendirme)
CSMA	: Carrier Sense Multiple Access (Taşıyıcı Algılamalı Çoklu Erişim)
DAA	: Dağıtık Algılayıcı Ağları
DSC	: Distributed Source Coding (Dağıtık Kaynak Kodlama)
EmServ	: Embedded Services (Gömülü Servisler)
ESCP	: EmServ Code Point (EmServ Kod-Noktası)
ES-PNB	: EmServ Per Node Behavior (EmServ Herbir-Düğüm Davranışı)
EWMA	: Exponential Weighted Moving Average (Eksponansiyel Ağırlıklı Hareket Ortalaması)
KA	: Kablosuz Algılayıcı Ağları
KCAA	: Kablosuz Çoklu-ortam Algılayıcı Ağları
MAC	: Medium Access Control (Ortama Erişim Kontrolü)
MEMS	: Mikro Elektro Mekanik Sistem (Micro Electro Mechanical System)
NEMS	: Nano Elektro Mekanik Sistem (Nano Electro Mechanical System)
OTR	: Object Transmission Rate (Nesne İletim Oranı)
Repro	: Reproducibility (Tekrarlanabilirlik)
ReTx	: Retransmission Count
SEİZS	: Ses İzleme Sistemi
SPPA	: Service Provisioning Policy Agent (Servis Sağlama Politikaları Ajansı)
SSA	: Servis Seviyesinde Anlaşma
SNR	: Signal to Noise Ratio (Sinyal Gürültü Oranı)
QoS	: Quality of Service (Servis Kalitesi)
QoS MOS	: QoS architecture for wireless Multimedia SensOr NetworkS (KCAA için QoS Mimarisi)
XLCP	: Cross-layer Communication Protocol (Çapraz-Katman Haberleşme Protokolü)
XLCS	: Cross-layer Communication Module (Çapraz-Katman Haberleşme Modülü)

KABLOSUZ ÇOKLU-ORTAM ALGILAYICI AĞLARINDA SERVİS KALİTESİ SAĞLAYACAK ÇAPRAZ KATMAN PROTOKOLÜ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Kablosuz Çoklu-ortam Algılayıcı Ağları (KÇAA) üzerinde çalışan gerçek-zamanlı ve çoklu-ortam uygulamaları servis kalitesine (QoS) ihtiyaç duyarlar. Bu uygulamalara yönelik QoS sağlayacak protokoller henüz ortaya çıkmaktadır. Bu protokollerden bazıları katmanlı ağ modeline uygun olarak önerildiklerinden enerji kullanımını açısından verimli değildir. Çapraz-katman modeli üzerine önerilen diğer protokoller kaynak rezervasyonu, trafik kabul kontrol ve gelişmiş trafik planlama gibi ileri QoS mekanizmaları kullandıklarından kaynakları kısıtlı KÇAA düğümlerinin üzerinde çalışmaları pek mümkün değildir. Bu nedenle bu doktora tezi kapsamında kaynakları kısıtlı KÇAA'nda QoS sağlayacak bir protokolün geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Öncelikle çapraz-katman tasarım ile QoS sağlamaya yönelik genel QoS MOS mimarisi önerilmiştir. QoS MOS mimarisi ağ ve bağ katmanlarını tek bir Çapraz-Katman Haberleşme Modülü (XLCM) altında birleştirir. XLCM, farklı QoS MOS paketlerinin sınıflandırılmasını, tampon alan yönetimini, trafik planlanmasını, Ortama Erişim Kontrolü (MAC) ile bir sonraki düğüme ötelenmesini farklı parametreler ile gerçekleştirerek paketlerin farklı QoS davranışları göstermelerini sağlar. QoS MOS üzerinde farklı protokollerin tasarlanmasına olanak tanıyan genel bir mimaridir. Bu nedenle QoS MOS mimarisine uygun QoS sağlayacak Çapraz-Katman Haberleşme Protokolü (XLCP) geliştirilmiştir. Yapılan benzetim çalışmaları XLCP'nin güvenilirlik, gecikme ve işlem hacmi QoS'i sağlayabildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çapraz-katman, Çoklu-ortam, Gerçek-zamanlı, Kablosuz algılayıcı ağları, Servis kalitesi (QoS).

DEVELOPMENT OF A QUALITY OF SERVICE PROVISIONING CROSS LAYER PROTOCOL IN WIRELESS MULTIMEDIA SENSOR NETWORKS

ABSTRACT

Real-time and multimedia applications running on Wireless Multimedia Sensor Networks (WMSNs) need quality of service (QoS). QoS provisioning protocols for such applications are just being emerged. Nevertheless, as some of these proposed protocols are based on layered network model, they are not energy efficient. As some other proposed cross-layer protocols leverage advanced resource reservation, traffic admission control and advanced traffic planning mechanisms, they are not suitable for resource limited WMSN nodes. Thus, in this thesis, development of a QoS provisioning protocol suitable for resource limited WMSN is studied. First, considering cross-layer design method, a generic QoS architecture devoted to QoS provisioning is proposed. QoS architecture unifies network and link layers under a unique Cross-layer Communication Module (XLCM). By classifying, managing buffer space, planning traffic, medium access control (MAC) and forwarding QoS packets to next node with deviant parameters, XLCM results with distinct packet behaviors. QoS is a generic architecture that enables designing different protocols on top of it. Hence, a Cross-layer Communication Protocol (XLCP) suitable for QoS architecture is designed. Simulation results show that XLCP is able to provision reliability, delay and throughput QoS.

Keywords: Cross-layer , Multimedia, Real-time, Wireless sensor networks, Quality of Service (QoS).

GİRİŞ

Bu tez kapsamında Kablosuz Çoklu-ortam Algılayıcı Ağları'nda (KÇAA) Servis Kalitesi (QoS) sağlayabilecek protokol ve algoritmaların geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Literatürde KÇAA'nda QoS sağlayabilecek protokol ve algoritmalar henüz ortaya çıkmaktadır. Ancak bu önerilen protokoller kaynakları (bellek, işleme, haberleşme ve enerji) oldukça kısıtlı KÇAA için uygun değildir. Bu önerilen protokoller gelecekte teknolojik gelişmelerle kaynakları daha da yüksek KÇAA düğümleri üzerinde uygulanabilirler. Bu nedenle bu doktora tezi çalışması kapsamında kaynakları kısıtlı, mevcut algılayıcı düğümleri üzerinde QoS sağlayacak protokol ve algoritmaların geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Öncelikle çapraz-katmanlı tasarım ile genel bir mimari (QoS MOS) sunulmuştur. Sonrasında da bu mimari üzerinde QoS sağlayacak çapraz-katmanlı bir protokol (XLCP) geliştirilmiştir. Bilgimiz dahilinde, mevcut kaynakları kısıtlı KÇAA'nda QoS sağlayacak böyle bir protokol henüz literatürde yoktur. Bu nedenle bu doktora tezi çalışması mevcut, kaynakları kısıtlı KÇAA'nda QoS sağlayabilmesi bakımından özgün bir çalışmadır.

İlerleyen bölümlerde tez çalışması ile ilgili Genel Bilgiler ve Katkılar (1. Bölüm), İlgili Çalışmalar (2. Bölüm), Katkılar ve Çözümler (3-7. Bölümler) detaylı olarak anlatılmıştır. 1. Bölüm Genel Bilgiler kısmında Konvansiyonel Algılayıcı Ağlarının kısa tarihçesi sunulurken Kablosuz Algılayıcı Ağları'nın (KAA) ve kablosuz çoklu-ortam algılayıcı ağları'nın (KÇAA) ortaya çıkışları sunulmuştur. Sonrasında problem tanımı, özetle çözümler ve katkılar ifade edilmiştir. 2. Bölüm İlgili Çalışmalar kısmında literatür araştırması detaylı olarak verilmiştir. Daha sonraki bölümlerde doktora tezi kapsamında gerçekleştirilen çözümler ve katkılar bütün detayları ile anlatılmıştır. Performans analizi ve değerlendirmesi yapılarak önerilen protokol ve algoritmaların KÇAA'nda QoS sağlayabildiği gösterilmiştir.

1. GENEL BİLGİLER VE KATKILAR

Bu bölümde doktora tezi çalışılmasına konu olan algılayıcı ağlarının kısa tarihçesi verilmiş, teknolojik gelişmeler ile birlikte KAA'nın ve KÇAA'nın ortaya çıkışı anlatılmış, bu ağlardaki sorunlar ve problemler sunulmuş ve nihayetinde doktora tezi çalışmasının özünü oluşturan problem tanıtılmıştır. Son olarak da doktora tezinin doğrulanmasında ortaya konulan katkılar ve çözümler özetle anlatılmıştır.

1.1. Konvansiyonel Algılayıcı Ağları'nın Kısa Tarihçesi

Birçok teknolojide olduğu gibi savunma sanayi uygulamaları algılayıcı ağlarında araştırma ve geliştirmenin tetikleyicisi olmuştur. I. Dünya Savaşı'nda deniz radar teknikleri birkaç kilometrelik bir alanda saptama yapabiliyorlardı. II. Dünya Savaşı deniz radarları 1. Dünya savaşında kullanılanlara nazaran kısmen daha iyiydiler. Daha uzun mesafelerdeki denizaltıların takip edilmesi için geliştirilen Ses İzleme Sistemi (SEİZS) 1930 yılların sonlarına doğru keşfedildi. SEİZS 1939-1945 savaşı sırasında yeterli ölçüde anlaşılmaya başlandı [1, 2]. 1950'li yılların ortasında, Soğuk Savaş döneminde, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Deniz Kuvvetleri Sovyet denizaltıların takibi için SEİZS sualtı izleme sistemini hayata geçirdi. SEİZS Atlantik ve Pasifik okyanusundaki stratejik noktalara konulmuş, birkaç milyar dolarlık, deniz tabanına yerleştirilmiş hidrofor dizini ağıdır. Bununla birlikte Soğuk Savaş sırasında ABD ve Kanada karasını savunmak için hava savunma radar ağları kurulmuştur. 1967 yılında uzaktan yönetilebilen, gerçek zamanlı personel ve araç saptama, konumlandırma ve raporlama amaçlı tüm hava şartlarında, gündüz ve gece çalışabilen Uzaktan Gözlemeli Savaş Alanı Algılayıcı Sistemi savaş alanı takibi, hedef belirleme ve erken uyarı gibi amaçlar için uygulamaya geçirildi [3, 4].

Algılayıcı ağları üzerine modern araştırma ABD Savunma Bakanlığına Bağlı DARPA'nın 1970'lerin sonunda başlattığı Dağıtık Algılayıcı Ağları (DAA) programıyla başlamıştır. 1978 yılında DARPA, MIT Lincoln Laboratuvarında, coğrafik olarak dağıtılmış algılayıcıların ve dağıtık bilgi-işleme kaynaklarının

savunma sistemleri teknolojilerinin geliştirilmesi hedefiyle çalışmalara başladı [5-9]. Bütün bu teknolojiler modern algılayıcı ağlarının temellerini oluşturmuştur.

1.2. Mikro Elektro Mekanik Sistem (MEMS) ve Nano Elektro Mekanik Sistem (NEMS) Teknolojilerindeki Gelişmeler

Mikro-elektronik alanındaki çalışmalar 1947 John Bardeen, Walter Brattain ve William Shockley'in ilk transistörü bulmasıyla başlamıştır. Shockley, Bardeen ve Brattain yarı-iletken çalışmaları ve transistor etkisi buluşlarından dolayı 1957 Nobel ödülüne layık görüldüler. Çift-birleşim Yüzeysel Transistor (1948 yılında Shockley tarafından keşfedildi) ve Birleşim Alan-etkili Transistor (1952 yılında Shockley tarafından keşfedildi) [10] birçok mikro-elektronik bileşenin kalbini oluşturmaktadır. Ancak modern bilgisayar endüstrisinin gelişmesi 1958 yılında Tümlüşik Devrelerin [11] geliştirilmesi ile ortaya çıkmıştır. 1959 yılında Richard Feynman (1965 yılında Nobel fizik ödülünü almıştır) ünlü konuşmasında daha küçük boyutlarda makinelerin daha fazla potansiyel uygulamalarının olduğunu söylemiştir [12, 13]. 1965 yılında Intel eş-kurucusu Gordon E. Moore 1958-1965 yılları arasındaki gelişmeleri inceleyerek Tümlüşik Devreler içerisindeki bileşen sayısının her yıl ikiye katlandığını gözlemlemiştir. Moore Kanunu olarak bilinen bu ifadenin en az on yıl boyunca devam edeceğini söylenmiştir [14]. Bellek yongaları da transistor ve kapasitör içermektedir. Bu nedenle Dinamik Rastgele Erişimli Bellek'lerin boyutu da Moore Kanunu'nu takip etmektedir. Feynman'ın ve Moore'un öngörülerini doğrultusunda, 1990'ların başından itibaren Tümlüşik Devreler alanındaki bu gelişmeler algılayıcılar, aktörler ve kontrol fonksiyonlarının silikon içerisinde bir araya getirilerek MEMS teknolojilerinin [15, 16] gelişmesini sağlamıştır. 1990'ların başından itibaren dünyada birçok devlet kurumu ve özel sektör MEMS ve NEMS teknolojilerinin geliştirilmesi üzerine yatırım yapmaya başladılar.

MEMS ve NEMS teknolojileri aracılığı ile algılayıcı yeteneklerinin gelişmesi ile birlikte vurgu algılayıcı sistemlerinin geliştirilmesine kaydı. Bunlardan ilki 1993 yılında Michigan Üniversitesi'nden Kensall D. Wise'in kol saati büyüklüğünde, pil enerjisi ile çalışan algılayıcı sistemidir [17]. Hemen arkasından, 1994 yılında, Los Angeles Kaliforniya Üniversitesi'nden Kris Pister ve Bill Kaiser tamamen otonom olarak çalışabilen, bir santimetreküp boyutunda veri işleme ve haberleşme yeteneği

olan algılayıcı düğümü [18] geliştirmeye yönelik Düşük Güçlü Kablosuz Mikro- algılayıcı projesini gerçekleştirdi [19]. Bu proje bir çok yeni teknolojinin askeri alanda başarıyla kullanılabilceğini gösterdi. Bu proje algılayıcıların daha da küçültülmesi üzerine UCLA WINS [20-22], AWAIRS ve Berkeley PicoRadio [23] projelerinin kurulmasına olanak tanıdı. 1998 yılında Kris Pister milimetre küp boyutunda otonom algılayıcı düğümünü geliştirmek amacıyla SmartDust projesini kurdu [24]. SmartDust projesinin başarısı diğer birçok algılayıcı düğümünün geliştirilmesini sağladı [25]. 2000 yılında IBM'de bulunan araştırmacılar [26] tarafından ilk NEMS aletni geliştirdi [27, 28]. Bu tarihten itibaren dünyada gerek devlet, gerek özel sektördeki yatırımlar sayesinde MEMS ve NEMS teknolojilerinde önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Tümüleşik Devreler teknolojisindeki gelişmeler düşük maliyetli ve düşük güçle çalışabilen algılayıcıların, radyoların ve işlemcilerin gelişmesine olanak tanımak suretiyle gelecekte fiziksel dünyamızın ağ ortamına da bağlanmasını sağlayacaktır.

1.3. Kablosuz Algılayıcı Ağları (KAA)

20. yüzyılın sonlarına doğru MEMS ve NEMS teknolojilerindeki gelişmelerle [29, 30] birlikte KAA'nın [31-35] hayatımıza yeni uygulamalarla gireceği öngörülmüştür. Bu ağlarda yer alan düğümlerin kısıtlı kaynaklar (güç, bellek, depolama, işleme ve bant genişliği) ile birlikte kısıtlı haberleşme mesafesi özellikleri bilimsel ağ camiasına yeni problemler getirmiştir [36, 37]. KAA her biri ısıya, basınca, sese, v.b. duyarlı akıllı algılayıcılarla donatılmış, kısıtlı enerjiye sahip pili bulunan, küçük işlemcili ve kısa menzilli alıcı-verici radyo içeren düğümlerden oluşmuş ağlardır. KAA'lar Amaca Özel (Ad Hoc) Ağ'ların [38] bir alt türüdür. KAA'nda yaşanan gelişmeler algılayıcı, haberleşme ve işleme teknolojilerindeki gelişmelere paraleldir.

Birçok teknolojinin gelişmesinde olduğu gibi savunma sanayi uygulamaları KAA alanındaki araştırma ve geliştirmelerin sürükleyicisi olmuştur. 1992 yılında ABD RAND şirketi, DARPA adına MEMS ve NEMS teknolojilerindeki gelişmeleri dikkate alarak savaş alanında kullanılabilcek teknolojileri ortaya koyacak çalıştaylar yürütmüştür [39]. 1993 yılında da bu çalışmaların devamını yürütmüştür [40]. 1992 ve 1993 yılındaki çalıştayların devamında, 1993-1996 yılları arasında DARPA ISAT (Information Sciences and Technology) çalışma grupları, akademi ve endüstriye

yayılan birçok KAA araştırma konusunu ortaya koymuştur. Bunlar NASA Sensor Web [41], Berkeley NEST [42], Berkeley Webs [43], UCLA CENS [44] ve birçok diğer projelerin [45] ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu projelerin devamında Great Duck, Zebra Net, Glacier, Herding, Ocean, Grape, Avalanche, EarthCope, CitySense, VitalSign, Power, Tracking, Mines gibi uygulamalar ortaya çıktı [35, 46]. 2000 yılından bu yana KAA için büyük sayıda ağ protokol ve algoritmaları geliştirildi [32, 47-49]. Çoğunlukla benzetim yazılımları bu protokol ve algoritmaların geliştirilmesinde kullanılmaktadır [50].

Üniversitelerde araştırma amaçlı ve özel sektörde ticari amaçlı uygulamalarla birlikte askeri sistem tasarımcıları ağ-merkezli harbin önemini anladılar [51]. Kooperatif Sözleşme Kabiliyeti [52] ABD Deniz Kuvvetleri tarafından geliştirilen ağ-merkezli bir savunma sistemidir. Bunlarla birlikte Sabit Dağıtık Sistem ve Gelişmiş Yayılma Sistemi [53], Katılımsız Yer Algılayıcıları [54] ve Taktik Uzaktan-kumandalı Algılayıcı Sistemler [55] ABD’de kullanılan algılayıcı ağları sistemleridir.

KAA yeni protokol ve algoritmalara ihtiyaç duymaktadırlar. KAA genellikle çok sayıda uzaysal olarak dağıtılmış , enerji kısıtlı ve kendiliğinden konfigüre olan düğümler içerirler. Algılayıcı düğümler algılama, veri işleme ve haberleşme için enerji harcarlar. Ancak haberleşme için harcanan enerji, algılama ve veri işleme enerji harcama faktöründen çok daha fazladır [22, 56]. Bu nedenle araştırmaların çoğunluğu enerji verimli haberleşme üzerine odaklanmıştır [57]. Enerji verimli veri işleme teknikleri üzerine de birtakım araştırmalar yürütülmüştür [58, 59]. Her bir faktör (algılama, veri işleme ve haberleşme) üzerine ayrı ayrı araştırmalar mevcuttur. Ancak her üç faktörü de göz önüne alan bir çalışma bilginiz dahilinde henüz literatürde mevcut değildir.

1.4. Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken (BMOY) Çoklu-ortam Teknolojilerindeki Gelişmeler

1990’ların başından bu yana, BMOY (CMOS-Complementary Metal Oxide Semiconductor) [60] alanındaki araştırmalarda patlama yaşanmıştır. Bu güne kadar neredeyse tek katı-durum görüntü algılayıcı teknolojisi yük-çiftleşmiş araç (charge-coupled device) yöntemi idi. Ancak birçok mikroişlemci, mantıksal devre, Uygulamaya Özgü Tümlşik Devre (ASIC-Application Specific Integrated Circuit)

ve bellek devreleri BMOY teknolojisi üzerine kurulmuştur [61-63]. Artık BMOY teknolojisi görüntü ve ses algılayıcılarının tasarımında da kullanılabilir. Bu nedenle, tek bir tümleşik çip üzerinde görüntü ve ses algılayabilen çoklu-ortam algılayıcı düğümleri ucuz BMOY teknolojisi ile gerçekleştirilebilir. TelosB [64], Imote [65], Cyclops [66], CMUcam3 [67], Panoptes [68], Meerkats [69], Garcia [70], MeshEye [71], WiCa [72], FireFly Mosaic [73], CITRIC [74], EyeRIS [75], Wi-FLIP [76] ürünleri BMOY teknolojisi ile üretilmiş çoklu-ortam algılayıcı düğümlerine örnektir.

1.5. Kablosuz Çoklu-ortam Algılayıcı Ağları (KÇAA)

MEMS, NEMS ve BMOY donanım mühendisliği ve tasarımındaki gelişmeler kamera ve mikrofon aracılığı ile fiziksel ortamdan görüntü, video ve ses alabilme özelliğine sahip düşük maliyetli çoklu-ortam cihazların kablosuz bir ağ üzerinde bir araya getirilmesini sağladı [77-82]. Düşük maliyetli, gerçek-zamanlı görüntü, ses ve video alabilme özelliğine sahip bu cihazların bir araya getirilmesinden oluşan ağ KÇAA olarak adlandırılmaktadır [83-86].

1.6. Kablosuz Çoklu-ortam Algılayıcı Ağları Uygulamaları

KÇAA hayatımıza birçok yeni uygulamaların girmesini sağlayacaktır [87-89]. Genel olarak bu uygulamaları aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz.

- Gözetim Uygulamaları: Bir alana, bölgeye veya sınıra yerleştirilen görüntü, video ve ses algılayıcıları ile donatılmış cihazlar mevcut gözetim uygulamalarının kalitesini geliştirecek veya tamamlayacaktır. Bir alanda meydana gelen hırsızlık olaylarını, trafik kazasını veya ihlallerini, bir bölgede oluşan terörist faaliyetlerin takibi, bir sınırda gerçekleşen yasa dışı giriş-çıkışları, bir binanın güvenliği gözetim uygulamaları örnek olarak verilebilir. Çoklu-ortam verileri saklanarak ilerde birtakım sorgulamalar için de kullanılabilir. Örneğin kayıp veya suçlu bir kişinin bulunmasında saklanan veriler sorgulanabilir.
- Gözlem Uygulamaları: Yeryüzüne veya bir çevreye yerleştirilen görüntü, video ve ses algılayıcıları ile donatılmış cihazlar mevcut gözlem uygulamalarının kalitesini geliştirecek veya tamamlayacaktır. Doğa ve trafik gözlem uygulamaları örnek olarak verilebilir. Doğanın daha iyi anlaşılması için gözlemlenmesi, bir yol

üzerindeki araçların sınıflandırılması ve trafik tıkanıklıklarının belirlenmesi ve yeni güzergahın önerilmesi uygulamaları örnek olarak verilebilir. Gözetim uygulamalarında olduğu gibi gözlem uygulamalarında da veriler saklanarak ilerde bir takım bilgi edinme sorguları için kullanılabilir.

- Endüstriyel Uygulamalar: Bir fabrikaya veya üretim tesisine yerleştirilen görüntü, video ve ses algılayıcıları ile donatılmış cihazlar mevcut endüstri uygulamalarının kalitesini geliştirecek veya tamamlayacaktır. Üretim süreci ve kalite kontrolü uygulamaları örnek olarak verilebilir. Örneğin son ürünler otomatik olarak bozukluk denetlemesine tabi tutulabilir ve ürünlerde yer alan parçaların doğru yerleştirilip yerleştirilmediği saptanabilir.
- Sağlık Uygulamaları: Bir hastaneye, bakım evine veya hasta kişinin üzerine yerleştirilen görüntü, video ve ses algılayıcıları ile donatılmış cihazlar mevcut sağlık uygulamalarının kalitesini geliştirecek veya tamamlayacaktır. Bir hastane veya bakımevindeki hastaların acil durumlarının tespit edilmesi, sesli komutlarla yardım isteklerinin alınması ve hastalıkları ile ilgili fiziksel şartların daha detaylı değerlendirilmesi uygulamaları örnek olarak verilebilir.
- Oyun Uygulamaları: Bir oyun alanına yerleştirilen görüntü, video ve ses algılayıcıları ile donatılmış cihazlar yeni oyunların gerçek oyun ortamı üzerinde geliştirilmesine olanak tanıyacaktır. Bu oyunlar sanal gerçeklik oyunları ile birleştirilerek gerçek fiziksel ortamda sanal gerçeklik oyunlarının geliştirilmesine de olanak tanıyacaktır. Örneğin bir oyun alanına yerleştirilmiş gerçek oyuncular ve sanal oyuncular birbirlerini bir oyun alanında yakalama oyunu oynayabilirler. Gelecekte sanal oyuncuların çevre ile etkileşim kurdukları oyunların geliştirilmesi beklenebilir.

1.7. Kablosuz Çoklu-ortam Algılayıcı Ağları'nda Sorunlar ve Problemler

KÇAA'nda bir takım temel sorunlar ve problemler yer almaktadır. Bu sorunlar ve problemler:

- Enerjiyi Koruma: Bu cihazların boyutlarının çok küçük olması nedeniyle cihazın pillerinin enerjisi oldukça sınırlıdır. Bu düşük enerjiye rağmen, ağ uzun süre operasyonel olmalıdır. Bu alanda oldukça fazla araştırma yapılmasına karşın, enerjinin etkin olarak kullanılması halen en önemli sorunlardan bir tanesidir.

- Kaynak-kısıtlı İşleme: Bu cihazların işlemci, enerji, bellek, depolama ve haberleşme kaynakları oldukça kısıtlıdır. Örneğin çoklu-ortam verisi bu algılayıcı düğümlerin belleğine sığmamaktadır. Ek olarak çoklu-ortam verileri yüksek bant genişliği ve QoS gerektirirler. Kaynakları bu denli kısıtlı olan bu çoklu-ortam algılayıcı düğümleri için QoS sağlayacak protokol ve algoritmaların geliştirilmesi çok fazla durum değişkeni içerdiğinden oldukça zor bir problemdir.
- Düşük Kaliteli Haberleşme: Bu ağlar genellikle ağır şartlar altında bulunan fiziksel ortamlarda da kullanılmak istenmektedir. Bu nedenle kablosuz kanal değişken ve düşük kalitede olmaktadır. Dolayısı ile geliştirilen protokollerin düşük kalitedeki haberleşme kanalında bile çalışabilmesi gerekmektedir.
- Yapısal Olmayan Ağ Topolojisi: Algılayıcı düğümleri zaman içinde işlevselliklerini kaybedebilirler. Bununla birlikte bazı düğümler hareketli olabilirler. Bu nedenle ağ topolojisi zaman içerisinde değişebilmektedir. Gürbüz, kendiliğinden uyarlanabilen, konfigüre ve organize olabilen protokollerin tasarımı oldukça zordur.
- Geniş Ölçeklenebilirlik: Bazı KÇAA binlerce, hatta yüz binlerce algılayıcı düğümünden oluşabilir. Bu nedenle geliştirilen protokol ve algoritmaların bu denli çok algılayıcı düğüme geniş ölçeklenebilir olması gerekmektedir. Geniş ölçeklenebilir protokollerin geliştirilmesi oldukça zorlayıcıdır.
- Müşterek Algılama ve İşleme: Bir fiziksel olayın algılanması birden fazla algılayıcı düğümü tarafından gerçekleşebilir. Bu nedenle verilerin bir araya getirilmesi ve sıkıştırılması gerekebilir. Müşterek algılanan verilerin nasıl bir araya getirileceği ve sıkıştırılacağı araştırmaları henüz olgun değildir.
- Dayanıklı Donanım: Algılayıcı düğümlerin fiziksel çevre koşullarının ekstrem olduğu ortamlarda ve şartlarda çalışması gerekebilir. Bu nedenle bu tür çevre koşullarına dayanıklı donanım üretmek zorlayıcıdır.
- Kolay Ticarileşebilecek Uygulamaların Eksikliği: Bazı şirketler algılayıcı cihazlarını üretmeye başladılar. Ancak KÇAA uygulamasının ticarileştirilebilmesi çok daha zordur. Bir çok KÇAA uygulaması çok özel gereksinimleri karşılamaktadır. Potansiyel alıcıları çok kısıtlı olacağından KÇAA uygulamaları geliştiren şirketlerin kazançları çok düşük olacaktır. Bu nedenle endüstride kazanç getirecek uygulamaların pazarlanması henüz karlı değildir.

1.8. Problem Tanımı

Çoklu-ortam ve gerçek-zamanlı uygulamaların üzerinde çalıştıkları ağdan QoS bekler. Genel olarak QoS ağın uygulamaların gereksinimlerini karşılama seviyesi veya uygulamaların ağdan algıladıkları trafik kalite seviyesi olarak tanımlanabilir. Uygulamanın misyonunun başarıyla tamamlanabilmesi için, çoklu-ortam içeriğinin güvenilir ve zamanında teslim edilmesi hayati önem taşımaktadır. Bu beklentilerin gerçekleştirilebilmesi için ağın haberleşme katmanında birtakım mekanizmalar ile QoS garantisi sunabilmesi gerekmektedir.

KÇAA'nda sorunlar ve problemler bölümünde belirtilen sorunlar ve problemler nedeniyle gerçek-zamanlı ve çoklu-ortam KÇAA uygulamaları için QoS sağlamak oldukça zor bir problemdir. Bu problemin çözümü henüz yeterli seviyede araştırılmamıştır. KÇAA uygulamalarının sorunları ve problemleri çok farklı olduğundan dolayı geleneksel kablosuz ağlar ve kablosuz amaca özel ağlar (wireless ad hoc networks) için geliştirilen protokol ve algoritmalar KÇAA için uygun değildir. Bu nedenle KÇAA için yeni nesil protokol ve algoritmaların geliştirilmesi gerekmektedir. Uçtan-uca (end-to-end) yol keşfi, kaynak rezervasyonu, yol düzeltme ve bakımı ve diğer mekanizmalar kaynakları kısıtlı KÇAA için doğrudan uygulanamazlar. KÇAA basit, geniş ölçeklenebilir, gürbüz ve etkin QoS sunabilen protokol ve algoritmalar gerektirirler.

Sıkalar ve çoklu-ortam gibi heterojen algılayıcı düğümlerinden oluşmuş bir KÇAA üzerinde bir veya birden fazla uygulama çalışabilir. Tek bir uygulama farklı veri türleri için farklı QoS gereksinimlerine veya her bir uygulama farklı QoS gereksinimlerine ihtiyaç duyabilir. Bunlarla birlikte, farklı KÇAA uygulamaları sürekli, periyodik, olay tetikli veya sorgu tetikli veri alma modellerini desteklemek durumunda kalabilir. Böyle bir KÇAA ortamında her bir veri alma modeli farklı QoS ihtiyacına gereksinim duyacaktır. Dahası, gerçek-zamanlı, çoklu-ortam video uygulamaları farklı öncelikli trafik servislerine ihtiyaç duyarlar. Örneğin, MPEG4 video verilerinde iç-çerçeve (I-frame) paketler yüksek önceliğe ihtiyaç duyarlar. Çünkü bu paketler gecikmeye duyarlıdır. Ancak öngörücü-çerçeve (P-frame) veya çift yönlü-çerçeve (B-frame) paketleri daha az öncelik gerektirirler. Çünkü bu paketlerdeki gecikmeler düzeltebilirler.

Yaptığımız literatür taraması KÇAA’nda QoS sağlayacak protokol ve algoritmaların geliştirilmesi probleminin araştırmaya açık bir alan olduğunu göstermiştir. Ancak bu problemin aşılması ile birlikte KÇAA üzerinde çalışan gerçek-zamanlı ve çoklu-ortam uygulamalar gerçekleştirilebilir.

Mevcut KÇAA’nda düşük işlemci hızı ve bellek yetersizliği gibi sebeplerden dolayı katı (hard) QoS sunabilecek protokol ve algoritmaların geliştirilmesi oldukça zordur. Dolayısı ile bu tez kapsamında KÇAA yer alan sorunları ve problemleri dikkate alarak, KÇAA için esnek (soft) QoS sağlayacak protokol ve algoritmaların geliştirilmesi problemi çözülmeye çalışılmıştır. Bu doktora tezi bu boşluğu doldurması açısından literatüre orjinal ve önemli katkılar sağlamaktadır. Bu katkılar tezin ilerleyen bölümlerinde detayları ile anlatılmıştır.

1.9. Katkılar

Bu tez kapsamında kablosuz çoklu-ortam algılayıcı ağlarında yumuşak QoS sağlayacak protokol ve algoritmaların geliştirilmesi üzerine odaklanılmıştır. Bu doğrultuda öncelikle KÇAA’nda kullanılacak genel Çapraz-Katman QoS Mimarisi (QoSMOS) tasarlanmıştır. Sonrasında, QoSMOS mimarisi içerisinde farklı QoS gereksinimlerine ihtiyaç duyan uygulamalar için servis ayırıştırabilen Çapraz-Katman Haberleşme Protokolü (XLCP) geliştirilmiştir. Benzetim çalışmaları ile XLCP’nin detaylı analiz ve performans değerlendirmesi yapılmıştır. Geo-Flood ve literatürde yer alan MMSPEED protokolü ile karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Son olarak, XLCP protokolü kullanılarak KÇAA’nda gürbüz ve güvenilir görüntü ve ses aktarımının nasıl gerçekleştirilebileceği incelenmiş ve değerlendirmeleri yapılmıştır.

Katkı 1: XLCP’in Tanıtımı ve XLCP’nin İlk Performans Analizi: Kablosuz çoklu-ortam algılayıcı ağları uygulamaları için QoS sunacak protokol ve algoritmaların geliştirilmesi oldukça zor bir problemdir. KÇAA’nda kaynaklar kısıtlı olduğundan hali hazırda bulunan kablosuz ağlar ve kablosuz amaca özel ağlar için geliştirilen protokol ve algoritmalar doğrudan KÇAA’na uyarlanamamaktadır. Bununla birlikte kablosuz çok sekmeli (multi hop) ağlarda farklı katmanların birbirine fonksiyonel olarak bağımlılıkları ve artıklıklar yer alır. Çapraz-katman tasarımlar bu bağımlılıkları ve artıklıkları etkili bir şekilde ortadan kaldırılabılır. Bu nedenle KÇAA için

önerilecek protokollerin ve algoritmaların çapraz-katman tasarım ile geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu katkı çalışmasında çapraz-katman tasarım protokolüne olanak tanıyan Çapraz-Katman Haberleşme Modülü (XLCM) ve üzerinde çalışan XLCP protokolü tanıtılmıştır. XLCP protokolünün ilk performans değerlendirmeleri NS-2 benzetim yazılımı kullanılarak güvenilirlik ve ortalama gecikme QoS alanlarında gerçekleştirilmiştir. İlk performans analizi çalışmaları XLCP'nin servis farklılaştırmada kullanılabilecek bir protokol olduğunu göstermektedir. Yapılan çalışmalar aşağıdaki makalede detaylı olarak anlatılmıştır:

Alper K. Demir, H. Engin Demiray, Sebnem Baydere, XLCM: Xross-Layer Communication Module for Service Differentiation in Wireless Sensor Networks, Proceedings of the 7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)'11, pp. 565-570, İstanbul, Turkey, 4-8 July 2011.

Katkı 2: QoS MOS Mimarisinin Tanıtımı ve XLCP'nin Detaylı Performans Analizi: QoS MOS mimarisi XLCM adı verilen tek bir haberleşme modülünün ağ ve MAC katmanlarını çapraz-katman tasarım ile birleştiren genel bir mimaridir. Bu mimari XLCM içerisinde sınıflandırma, tampon alan yönetimi, trafik planlayıcı ve ortama erişim haberleşme modülü içerisinde yer alan parametreleri belirleyerek farklı servis sınıfları tanımlayabilmektedir ve paketlerin buldukları servis sınıfına uygun davranışlar sergileyebilmesini sağlayabilmektedir. Bu katkı çalışmasında QoS MOS mimarisi ve bu mimari içerisinde yer alan XLCM detaylı olarak anlatılmıştır. Bununla birlikte QoS MOS mimarisinin uygulanabilirliğini gösterebilmek amacıyla XLCP ve algoritmaları detaylı bir şekilde sunulmuştur. XLCP protokolünün detaylı performans analizi Matlab ortamında geliştirilen benzetim ile gerçekleştirilmiştir ve grafiklerle detaylı olarak anlatılmıştır. Bununla birlikte XLCP'nin GEO-FLOOD ve MMSPEED protokolleriyle karşılaştırmalı performans değerlendirmesi de yapılmıştır. Yapılan çalışmalar aşağıdaki makalede detaylı olarak anlatılmıştır:

Alper K. Demir, H. Engin Demiray, Sebnem Baydere, QoS MOS: Cross-layer QoS Architecture for Wireless Multimedia Sensor Networks, Springer Wireless Networks Journal, 2013, kabul edildi.

Katkı 3: XLCP Kullanılarak Gürbüz ve Güvenilir Görüntü Aktarımı: Bu çalışmada olay saptama ve izleme senaryosu kapsamında yer alan nesne takibi uygulaması ele

alınmıştır. Algılayıcı düğümler düşük maliyetli kameralarla donatılmıştır. Bir olay oluştuğunda hareket algılayıcısı kamera ünitesini harekete geçirir, kamera ünitesi görüntü çeker ve algılayıcı düğüme iletir. Yüksek kaliteli bir görüntü yüksek bant genişliği gerektireceğinden, görüntü makro bloklara parçalanır ve her bir makro blok yüksek ve düşük öncelik sınıflarına işaretlenir. Resmin makro-bloklara ayrılması, işaretlenmesi ve algılayıcı düğüme aktarılması için belirli bir işlem ve aktarım zamanı gerektirdiğinden her bir makro blok belirli bir periyotla hedefe iletmek üzere XLCP aracılığıyla kaynaktan hedefe taşınır. XLCP farklı önceliğe sahip makro bloklar için farklı tampon alan ayırır. Bu çalışmada algılayıcı kaynağının belleği çok düşük olduğundan bütün kaynaklar yüksek servis sınıfına ait makro-bloklar için ayrılmıştır. Düşük servis sınıfına ait makro-blok paketleri için tampon alanı ayrılmamıştır. Farklı tampon alan ve tekrar iletim değerleri, farklı BER'e sahip kanal üzerinden iletilmiştir ve grafikleri sunulmuştur. Bu grafiklerden sabit bir tampon alan için hangi tekrar iletim değerinin optimum güvenilirlik ve OTR değerini sağladığını gözlemek mümkündür. Yapılan çalışmalar aşağıdaki makalede detaylı olarak anlatılmıştır:

Alper K. Demir, Kerem Irgan, Sebnem Baydere, H. Engin Demiray, Transmitting Objects in Images with Service Differentiation Based Source Coding in Wireless Sensor Networks, Proceedings of the 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)'13, Cagliari, Sardinia, İtalya, 1-5 Temmuz 2013.

Katkı 4: XLCP Kullanılarak Aktivite Takibi: Bu çalışmada aktivite takibi senaryosu kapsamında yer alan ses ve hareket izleme uygulaması ele alınmıştır. Ağ içerisindeki düğümler düşük maliyetli ses ve hareket algılayıcıları ile donatılmıştır. Hareket verileri sınıflandırılmak üzere periyodik olarak hedefe iletilirler. Bu esnada bir ses komutu algılandığında ses algılayıcı ünitesi verilen komutu algılar ve hedefe iletir. Yüksek kaliteli bir ses yüksek bant genişliği gerektireceğinden, ses bloklara parçalanır ve her bir blok ayrı ayrı iletilir. Sesin bloklara ayrılması ve algılayıcı düğüme aktarılması için belirli bir işlem ve aktarım zamanı gerektirdiğinden her bir blok belirli bir periyotla hedefe iletmek üzere XLCP aracılığıyla kaynaktan hedefe taşınır. Örneğin böyle bir uygulama darülacezede bulunan yaşlı kişilerin takibinde kullanılabilir. Bunun için İstanbul Kayışdağı'ndaki Darülaceze ziyaret edilmiş ve

oradaki fiziksel ortam incelenmiştir. Öncelikle farklı iletim gücünün ses ve hareket verilerinin iletilmesi etkisi araştırılacaktır. Sonrasında elde edilen sonuçlara göre farklı parametrelerin etkisi araştırılacaktır.

1.10. Tezin Organizasyonu

Bu tezin organizasyonu aşağıdaki gibidir:

Giriş: Bu bölümde tez tanıtılmıştır. Tezin konusu, önemi ve tez bölümünün içerikleri hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak tezin amacı belirtilmiştir.

Bölüm 1: Genel Bilgiler ve Katkılar: Bu bölümde doktora tezi çalışmasına neden olan algılayıcı ağların kısa tarihçesi, MEMS, NEMS ve CMOS teknolojileri ile birlikte kablosuz çoklu-ortam algılayıcı ağlarının çıkışı anlatılmıştır. Ardından kablosuz çoklu-ortam algılayıcı ağlarındaki sorunlar ve problemler sunulmuştur. Daha sonra doktora tezi çalışmasına sebep olan kablosuz çoklu-ortam algılayıcı ağlarında QoS sunacak protokol ve algoritmaların geliştirilmesi problemi anlatılmıştır. Nihayetinde tez kapsamında ortaya konulan orjinal katkılar özetlenmiştir.

Bölüm 2: İlgili Çalışmalar: Bu bölümde literatürde yer alan ilgili çalışmalar sunulmuştur. Sonrasında doktora tezi çalışmasında sunulan çözümün gerekçeleri ve farklılıkları ortaya konulmuştur.

Bölüm 3: Çapraz-katman QoS Mimarisi (QoSMOS): Bu bölümde doktora kablosuz algılayıcı ağlarında QoS sunacak protokol ve algoritmaların geliştirilmesinde kullanılabilecek genel amaçlı ve çapraz-katmana dayalı QoSMOS mimarisi anlatılmıştır. QoSMOS mimarisi kablosuz çoklu-ortam algılayıcı ağlarında QoS sunabilecek birçok protokol ve algoritmanın geliştirilmesine olanak tanır.

Bölüm 4: Çapraz-katman Haberleşme Protokolü (XLCP): Bu bölümde QoSMOS mimarisinde yer alan XLCP içerisinde kablosuz çoklu-ortam algılayıcı ağlarında QoS sunabilecek XLCP anlatılmıştır.

Bölüm 5: XLCP'nin Performans Değerlendirmesi: Bu bölümde XLCP'nin detaylı performans analizi ve değerlendirilmesi anlatılmıştır. Performans değerlendirmelerinde

XLCP'nin farklı parametrelerinin performans üzerindeki etkisi grafiklerle gösterilmiştir ve anlatılmıştır.

Bölüm 6: XLCP'nin Karşılaştırmalı Performans Değerlendirmesi: Bu bölümde XLCP'nin GEO-FLOOD ve MMSPEED protokolleri ile karşılaştırmalı performans değerlendirmeleri anlatılmıştır.

Bölüm 7: XLCP ile Güvenilir Görüntü İletimi: Bu bölümde görüntüler makro-bloklara parçalanmış, her bir makro-blok önceliklendirilmiş ve XLCP kullanılarak farklı BER değerlerine sahip kanal üzerinden farklı tampon alan ve tekrar iletim değerleri ile iletilmiştir. Performans analizi ve değerlendirmeleri yapılmıştır.

Bölüm 8: Sonuçlar ve Öneriler: Tez çalışması sonunda elde edilen sonuçlar bu bölümde özetlenmiştir. Elde edilen sonuçların olası yararları ve uygulama alanları belirtilmiştir. Tez çalışmasının geliştirilmesi için ileride yapılacak araştırmalara yönelik öneriler sunulmuştur.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, literatürde yer alan geçmiş KAA ve KCAA üzerinde çapraz-katman tasarımı ve QoS çalışmaları araştırılmış ve sunulmuştur. Öncelikle çapraz-katman tasarım çalışmaları, sonrasında QoS çalışmaları ve en sonunda da çapraz-katman tasarım ile QoS çalışmaları incelenmiş ve sunulmuştur. Literatürde çapraz-katman tasarım ile QoS çalışmaları çok kısıtlı sayıda bulunmaktadır. Mevcut olanlar aşağıda anlatılmıştır.

2.1. KAA ve KCAA Üzerinde Çapraz-Katman Tasarım Çalışmaları

Katmanlı tasarım konvansiyonel kablolu ağlarda başarıya ulaşmasına karşın kablosuz ağlarda performans düşüşüne sebep olmuştur. Çapraz-katman tasarımı ilk olarak kablosuz ağlarda TCP'nin performans iyileştirmesi olarak karşımıza çıkmaktadır [90]. TCP ile birlikte kablosuz ağlardaki diğer protokoller için de çapraz-katman tasarım kullanılmaya başlandı [91, 92]. Enerji tüketimini azaltarak avantaj sağlamasından ötürü KAA için önerilen bazı öncü protokol ve algoritmalar çapraz-katman tasarımını kullandılar [93, 94]. Sonrasında, geleneksel katmansal tasarımın performans düşüşü ve artıklıklarla sonuçlanmasından dolayı, çapraz katman tasarım KAA'da performans artışı sağlamak amacıyla yaygınlaştı [95-99].

Çapraz-katman yaklaşımı iki farklı ana bağlamda kullanılmaktadır [92, 97]. İlk bağlamda, geleneksel katmansal mimari [100] korunarak her bir katman arasında bulunduğu diğer katmanları durumu hakkında bilgilendirerek çapraz-katman etkileşimleri göz önüne alınır. Bu durumda her bir katmanda kullanılan mekanizmalar ve yöntemler yerlerini korurlar. Katmanlar arasında aşağıdan yukarıya yada yukarıdan aşağıya bilgi akışı gerçekleşir. İkinci bağlamda geleneksel katmansal mimari ihlal edilerek her bir katmanda yer alan mekanizmalar ve yöntemler yeniden tasarlanır ve tek bir katman içerisinde birleştirilir. Bu yaklaşım sistemin ömrünü arttırır, daha etkin performans artışları sağlar ve optimizasyonlarla sonuçlanır. Her iki yöntem hibrid olarak da kullanılabilir.

KAA’nda gerçekleştirilen ilk çalışmalar enerji verimliliği sağlanması için geliştirilecek protokollerin ve algoritmaların, fiziksel katmanı göz önünde bulundurarak, çapraz-katman tasarım ile geliştirilmesini önermiştir [101]. Daha sonra geliştirilen çapraz-katman protokolleri genellikle taşıma, yönlendirme ve Ortama Erişim Kontrol (MAC) katmanlarının ikili olarak birleştirilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır [102-106]. Üç katmanın birleştirildiği çok az sayıda çalışma vardır [107, 108]. Bununla birlikte, çok sekmeli kablosuz ağlar için kaynakların çapraz-katman modeli ile paylaşımı problemi bir optimizasyon problemi olarak ele alınmış ve genel bir çerçeve modeli oluşturulmuştur [108]. Bu tür modeller KAA ve KÇAA için uyarlanabilirler.

KAA ve KÇAA için uyarlamalı metodlar oldukça kullanışlıdır. Uyarlamalı metodların kullanımı kablosuz haberleşmenin ilk başlangıç dönemlerinde de önerildi [109, 110]. Sonrasında, bu metodlar kablosuz ağlar ve amaca özel ağlar için de karşımıza çıkmaktalar [111, 112]. Bu uyarlamalı yöntemler iletim gücünü veya modülasyonunu geri-besleme kanalından alınan bilgi doğrultusunda farklı seviyelerde tutarak performans arttırmaya yöneliktir. Uyarlamalı modülasyon [113, 114] enerji ve gecikmeyi birbirine yeğlemek amacıyla kullanılabilir [115-117]. Uyarlamalı modülasyon özel haberleşme donanımı gerektirdiğinde maliyeti oldukça yüksektir. Bu nedenle mevcut KÇAA cihazları üzerinde henüz uygulanmamıştır. Bununla birlikte çapraz-katman optimizasyonu ve enerji tasarrufu amacı ile uyarlamalı iletim gücü [118], görev-döngü (duty-cycle) planlaması [119-122] ve network-İçi işleme [123] teknikleri de önerilmiştir. Bu çapraz-katman uyarlamalı yöntemler enerji-tasarrufu sağladığından mevcut KAA ve KÇAA üzerinde uygulanabilir.

Haberleşme katmanında ortak kullanılan fonksiyonların standart ara yüzler aracılığı ile oluşturulmasında veya birleştirilmesinde çok dikkatli davranılmalıdır. Aksi durumda performans artışı ve enerji tasarrufu yerine olumsuz sonuçlar ile karşılaşılabilir. Haberleşme yığını üzerinde çapraz-katman tasarımı ile verimli optimizasyonların yapılabilmesi ve çapraz-katman tasarımının iyi anlaşılabilmesi için daha çok araştırmanın yapılması gerekmektedir. Bu alan araştırmaya açıktır.

2.2. KAA ve KCAA Üzerinde QoS Çalışmaları

En genel olarak QoS uygulama gereksinimlerinin haberleşme ağından karşılanma seviyesi olarak adlandırılabilir [124]. Bu doktora tezi kapsamında bu QoS tanımı kullanılmaktadır. Bu tanım dışında literatürde QoS farklı anlamlarda da kullanılmıştır. Bütün ağ için enerji tüketiminin indirgenmesi yada aktif algılayıcı sayısının mümkün olan en üst düzeyde tutulması da QoS olarak tanımlanmıştır [125-127]. Rastgele erişimin kontrol edilmesi [128], yoğunluk, kesinlik, gecikme ve ağ ömrü [129] bakış açısı da QoS'i tanımlamak için kullanılmıştır. KAA ve KCAA için bu tanımlara uygun QoS'in sağlanması araştırmaya açık bir alandır.

Internet geleneksel olarak en iyi-çaba servisi sunmaktadır. Intserv [130] ve Diffserv [131], Internet için QoS sağlayacak iki popüler genişletme modelidir. Intserv yönteminde paketlerin yolları üzerinde yer alan kaynaklar doğrudan rezerve edilir. Dolayısı ile paketler için uçtan uca bir yol oluşur. Her düğüm üzerinde kabul kontrol uygulanır ve bu sayede saptanabilir (deterministic/hard) QoS garantisi sağlanmış olur. Diğer taraftan, Diffserv yöntemi paketlerin türüne göre önceliklerini belirler ve her bir sekmede olasılıksal (probabilistic/soft) QoS garantisi sağlar. Diffserv'de gelişmiş sınıflandırma, işaretleme, kontrol ve şekillendirme yalnızca ağın kenarında gerçekleştirilir. Ancak bu kompleks yöntemler maalesef kaynak kısıtlı KAA ve KCAA için doğrudan uygulanamamaktadır. Bu tez kapsamında Internet Diffserv QoS modeli örnek alınmıştır.

KAA için önerilen ilk protokol olmalarına karşın Directed Diffusion [132] ve Sequential Assignment Routing [133] protokollerinde çok basit QoS önerileri bulunmaktaydı. Ancak QoS'in nasıl sunulacağı çok net belirli değildi. Bu protokollerin asıl amaçları veri-merkezli yönlendirme işlemi yapabilmektir. Bu nedenle bu protokoller QoS-tabanlı protokol olarak görmek doğru değildir. Hemen ardından KAA ve KCAA için QoS sağlayacak protokoller önerilmiştir [134-140]. Ancak bu QoS çalışmalarının çoğu katmansal model üzerinde yer alan yönlendirme [141-157] veya MAC [158-168] işlevleri için önerilmiştir. Bunlarla birlikte görev-döngü planlaması [169, 170] ve trafik planlaması [171-173] fonksiyonları da QoS sağlamak amacı ile önerilmiştir. Katmansal model üzerine kurulu QoS sağlamaya yönelik protokoller de bir üst yada alt katmanlardaki olumsuzluklar servis düşüşüne

yada istenilen servisin sunulamamasına neden olabilir. Bu önerilen protokoller katmansal model üzerine kurulu olduklarından en iyi düzeyde QoS sağlayamamaktadır.

2.3. KAA ve KÇAA Üzerinde Çapraz-Katman Tasarım ile QoS Çalışmaları

Yüksek bellek, işlemci ve bant genişliği kapasitesi gerektiren çoklu-ortam uygulamaları geleneksel KAA düğümleri [174] üzerinde çalıştırılmazlar. Bu uygulamalar daha yüksek bellek, işlemci ve bant genişliğine sahip KÇAA düğümleri üzerinde çalıştırılabilirler. Algılanan verilerin yalnızca kısıtlı sürede geçerli olduğu çoklu-ortam uygulamaları gerçek zamanlı veri teslimi gerektirir. Bu tür uygulamalarda veriler belirli bir gecikme limiti ile teslim edilmek durumundadır. Bununla birlikte video uygulamalarında farklı veri türleri belirli bir güvenilirlik limiti ile teslim edilmelidir. Bu alanda kullanılacak protokoller ve algoritmalar henüz ortaya çıkmaktadır. Özellikle QoS sağlayacak çalışmalar daha başlangıç aşamasındadır ve araştırmaya açıktır.

KAA'nda ve KÇAA'nda QoS sağlamak oldukça zordur. Çapraz-katman optimizasyon ve tasarım bu zorluğun üzerinden gelmenin ve QoS sağlayacak protokol ve algoritmaların geliştirilmesine olanak tanıyan bir yöntemdir. Çapraz-katman tasarımın nasıl kullanılacağı yeni bir alan olduğundan anlaşılabilmesi için daha çok araştırmanın yapılması gerekmektedir. Bildiğimiz kadarı ile literatürde henüz yeterli sayıda çalışma mevcut değildir. Öncelikle yapılması gereken çalışmalardan bir tanesi çoklu-ortam ve gerçek-zamanlı uygulamaların QoS gereksinimlerinin anlaşılmasıdır. Örneğin ITU-T için de yer alan NGN'in belirlediği Internet üzerinde çalışan IP tabanlı ağ uygulamaları için önerilen Y.1540 ve Y.1541 [175] standartları gözden geçirilebilir.

Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi çapraz-katman iki farklı şekilde gerçekleştirilebilir. Bunların ilkinde katmansal model korunur ve her katman bir alt katmana gereksinimlerini iletir. Bu alanda ilk çalışmalardan biri olan, büyük ölçekli KAA için gerçek-zamanlı haberleşme mimarisi (RAP) [176] coğrafik ötelemeyi, hız monoton planlamasını ve önceliklendirilmiş MAC'i kullanarak uçtan-uca zaman sınırını kaçırma oranını azaltmayı amaçlamıştır. SPEED [141] ve ReInforM [142] protokollerini birleştirerek hız tabanlı trafik planlaması, farklılaştırma ve çok-yoldan

öteleme mekanizmaları ile çalışan MMSPEED (Multi-path, Multi-speed) [177, 178] protokolü zamanında teslim ve güvenilirlik servislerini IEEE 802.11e [179] protokolü üzerinde bir takım değişiklikler ile sağlamayı hedeflemiştir. MMSPEED zamanında teslim QoS'i farklı hızlar tanımlayarak, güvenilirlik servisini de çok-yoldan öteleme mekanizmaları ile gerçekleştirmektedir. MMSPEED bunları coğrafik yönlendirme ve geribildirim kontrol mekanizmaları ile desteklemektedir. Gerek RAP, gerekse MMSPEED, uygulamanın servis ihtiyacını doğrudan Servis Seviyesinde Anlaşma (SSA) ile gerçekleştirmektedir. Yani uygulamalar istedikleri servis seviyesini açıkça ağa belirtirler. Ancak RAP ve MMSPEED ağ üzerinde aşırı yüklü trafik olduğunda SSA de belirlenen QoS'de olasılıksal düşüş gerçekleşir. Bu düşüş ağa giren trafiğin kontrol edilmediği QoS modellerinde doğal bir süreçtir

Katmansal görev-döngülü MAC ve yönlendirme protokollerinin birlikte kullanılmasının yüksek gecikmeyle sonuçlandığı gözlemlenmiştir. Önerilen uyuma döngüleri enerji tasarrufu sağlamakta, ancak gecikme ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle gecikmeyi azaltmak, enerji tasarrufu ve güvenilirliği artırmak, ve gecikmeyi azaltmak amacı ile görev-döngülü MAC ve yönlendirme protokollerinin birlikte ele alındığı protokoller önerilmiştir. MERLIN [180] zaman kuşaklı yerleştirme, çoğagönderim (multicast), periyodik lokal tamama-gönderim (broadcast) gibi tekniklerle birlikte görev-döngülü MAC ve yönlendirmeyi birlikte ele almıştır. Minimum gecikmeli birlikte görev-döngü planlama ve yönlendirme protokolü (MLSR) [186] gecikme diyagramı ve minimum ağırlıklı M düğüm-ayrık yol algoritmasını, TDMA (Time Division Multiple Access) ve FDMA (Frequency Division Multiple Access) MAC katmanları üzerinde gecikmeyi azaltmayı hedeflemiştir. CL-MAC [181] protokolü gecikmeyi azaltmak ve güvenilirliği arttırmak amacı ile görev-döngülü MAC ve yönlendirmenin önerildiği protokollerden bir diğeridir. Gecikme garantili MAC ve yönlendirme (DGRAM) [182] protokolü çekişme-bağımsız (contention-free) TDMA MAC üzerine kurulu saptanabilir gecikme garantisi sunabilen bir protokoldür. Bu protokollerin hepsi yalnızca gecikmeye duyarlı uygulamalar için kullanılabilirler. Ancak güvenilirlik ve yüksek işlem hacmi gerektiren uygulamalar için kullanılmaları uygun değildir.

Son zamanlarda MAC ve yönlendirme katmanları ile birlikte fiziksel katman veya uygulama katmanlarının da birleştirildiği birkaç protokol önerildi. Çapraz-katman

kontrol ünitesi (XLCU) [183], MAC ve fiziksel katmanda zaman atlamalı impuls radyo ultra geniş bant (TH-IR-UWB) iletim tekniğini kullanarak MAC ve yönlendirme katmanlarını birleştirir. XLCU, katı gecikme, güvenilirlik ve işlem-hacmi (throughput) QoS metriklerini sağlamak amacı ile coğrafik öteleme, atlamadan-atlamaya (hop-by-hop) QoS sözleşmesi, kabul kontrolü, alıcı-merkezli trafik planlaması ve dinamik kanal kodlama tekniklerini kullanmaktadır. Kaynak yöneltmiş çoklu-yol yönlendirme (SDRM) [184, 185], uygulama katmanında Wyner-Ziv kayıplı kaynak kodlama kullanarak MAC ve yönlendirme katmanlarını birleştirir. Bununla birlikte SDRM, 802.11e tabanlı MAC üzerinde coğrafik öteleme, kaynak yöneltmiş çok-yollu öteleme ve kuşakları, lokal kaynak uzlaşması ve yol kurma, kaynak kabul kontrolü, çok-oranlı bağ adaptasyonu, hedef geribildirim-tabanlı bozukluk kontrolü tekniklerini kullanır. Hem XLCU hem SDRM rezerve edilmiş yol, atlamadan-atlamaya QoS sözleşmesi ve kabul kontrol masraflı yöntemleri içerdiklerinden ağır tartılı protokollerdir. Bu nedenle bu protokoller kaynak kısıtlı KÇAA için uygun değildir ve çok sayıda algılayıcı düğümünden oluşmuş KÇAA üzerine taşınamazlar.

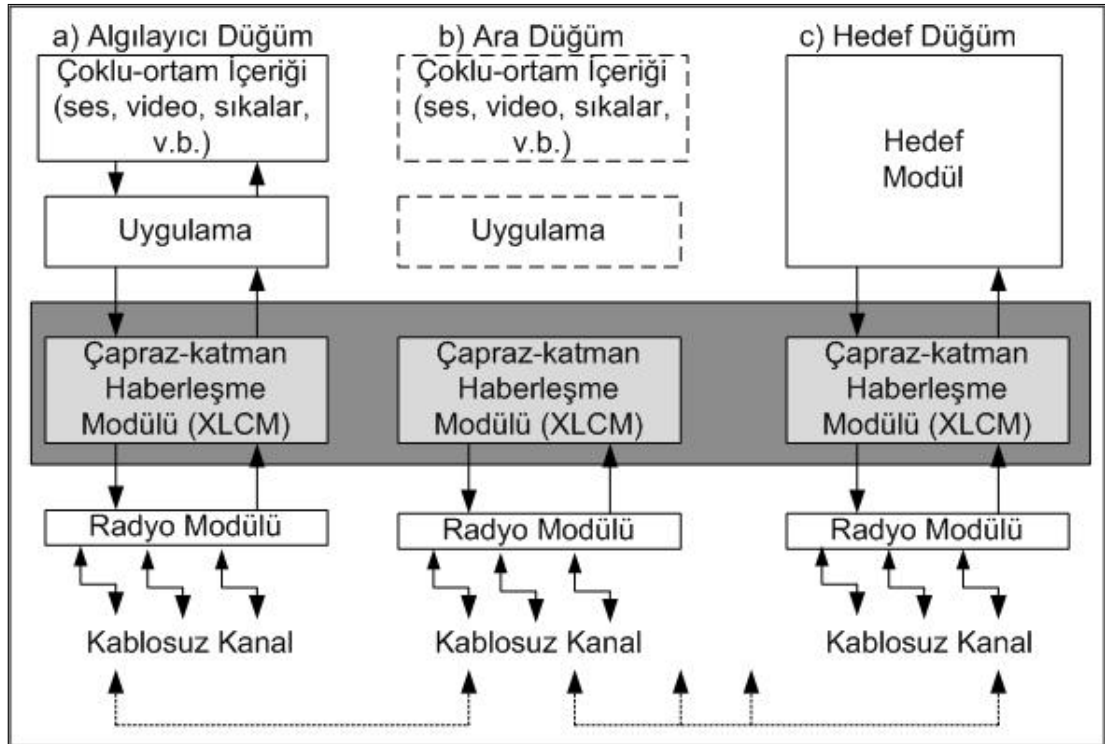
Bu tez kapsamında geliştirilen Çapraz-katman Haberleşme Protokolü (XLCP) ağ ve MAC katmanlarını birleştirerek paketlerin sınıflandırılması, farklı tampon alanlarına yerleştirilmesi, paket planlaması ve dağıtık ortama erişim içinde yer alan parametreleri değiştirerek, her bir paket için bağlı bulunduğu sınıfa uygun QoS sağlamayı hedeflemektedir. XLCP basit yöntemler içerdiğinden hafif tartılı bir protokoldür. Bu nedenle mevcut kaynakları kısıtlı KÇAA için uygundur ve çok sayıda algılayıcı düğümünden oluşmuş KÇAA üzerinde uygulanabilir. XLCP ilerki bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır. QoS sağlayabilecek kabiliyeti olan çapraz-katman tasarımlı protokollerin genel karşılaştırılması Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. QoS sağlama yeteneği olan çapraz-katman tasarımı protokoller

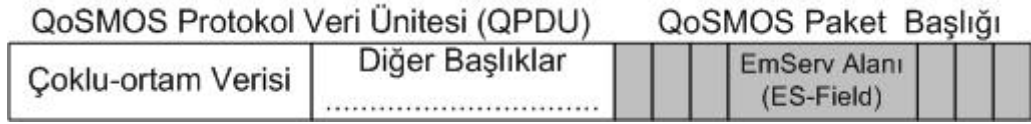
Protokol	İşlevsel Katmanlar	QoS Alanı	SSA
MERLIN [180]	Ortak görev-döngülü MAC ve yönlendirme	Gecikmeyi azaltma	dolaylı
MLSR [186]	Ortak görev-döngülü MAC ve yönlendirme	Gecikmeyi azaltma	dolaylı
DGRAM [182]	Ortak görev-döngülü MAC ve yönlendirme	Katı zamanındalık	dolaylı
CL-MAC [181]	Ortak görev-döngülü MAC ve yönlendirme	Gecikmeyi azaltma ve güvenilirliği artırma	dolaylı
RAP [176]	Katmanlı MAC ve yönlendirme	Esnek gecikme	doğrudan
MMSPEED [178]	Katmanlı MAC ve yönlendirme	Esnek zamanındalık ve güvenilirlik	doğrudan
XLCU [183]	Ortak fiziksel katman, MAC ve yönlendirme	Katı zamanındalık, güvenilirlik ve işlem hacmi	doğrudan
SDMR [185]	Ortak MAC, yönlendirme ve uygulama	Katı zamanındalık, güvenilirlik ve işlem hacmi	doğrudan
XLCP	Ortak MAC ve yönlendirme	Esnek gecikme, güvenilirlik ve işlem hacmi	dolaylı

3. ÇAPRAZ-KATMANLI QoS MİMARİSİ (QoSMOS)

QoSMOS mimarisi ağ yönlendirme ve MAC işlevleri birleştirilmiş, trafik sınıflandırma ve trafik planlama mekanizmaları ile tek bir çapraz-katman haberleşme modülü (XLCM)'nden oluşur. QoSMOS mimarisi kaynakları toplanmış paket trafiği için sınıflandırması ve servis farklılaştırması açısından Internet Differentiated Services (Diffserv) [131] mimarisine benzemektedir. QoSMOS mimarisinin sağlayabildiği bu servis modeli Gömülü Servis (EmServ) modeli olarak adlandırılmıştır. QoSMOS EmServ modelinde her bir paket için servis farklılaştırma sağlanmaktadır. XLCM modülü çapraz-katman iyileştirmeler ile birçok farklı servis sağlama politikalarına olanak tanınmaktadır. Bu nedenle QoSMOS mimarisi üzerinde birçok farklı QoS sağlanabilir. Şekil 3.1.'de QoSMOS mimarisi sunulmuştur.



Şekil 3.1. QoSMOS mimarisi

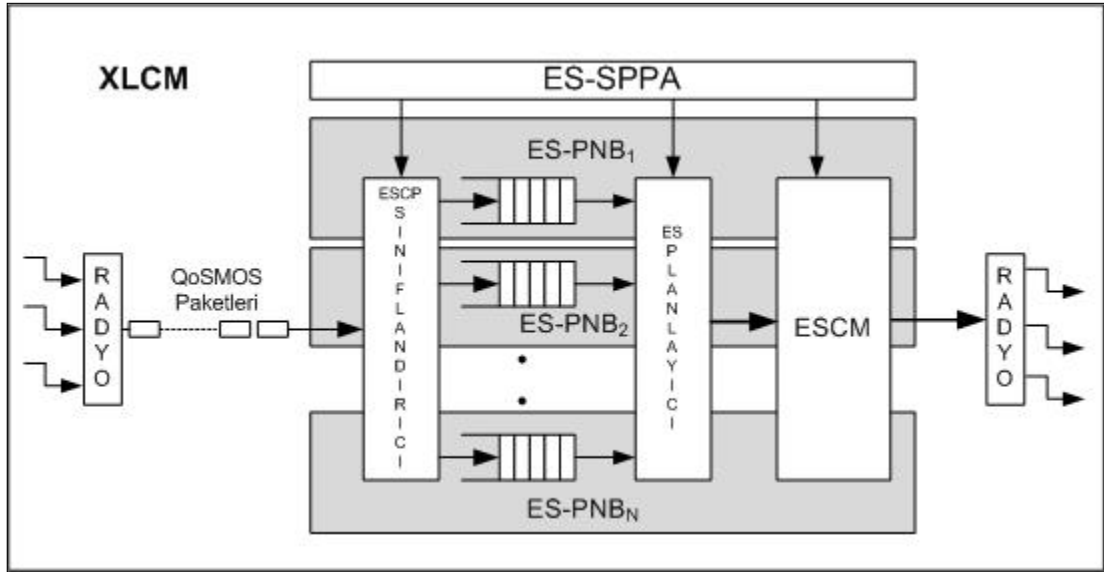


Şekil 3.2. Genel QoS MOS Veri Paketi

QoS MOS mimarisi her bir QoS MOS paketinin içerisinde yalnızca Q-bit'den (örn. 2-bit, 4-bit, v.b) oluşmuş bir alan gerektirir. Bu alan EmServ Alanı (ES-field) olarak adlandırılır. ES-field'in QoS MOS mimarisi tarafından tanımlanması şart değildir. Daha üst katmanlarda Q-bit'lik bir alan tanımlanmışsa bu alanda ES-field olarak kullanılabilir. Q-bit'in uzunluğu ve detayları QoS MOS mimarisinin spesifik uygulamalarına göre seçilebilir. Şekil 3.2.'de Genel QoS MOS Veri Paketi gösterilmektedir.

3.1. Çapraz-katmanlı Haberleşme Modülü (XLCM)

XLCM, QoS MOS mimarisi içerisinde bir grup EmServ Herbir-Düğüm Davranışı (ES-PNB)'ndan ve Servis Sağlama Politikaları Ajanı (ES-SPPA)'nından oluşmuştur. Bir ES-PNB, ortak bir EmServ Kod-Noktası Sınıflandırıcısı (ESCP-Classifler)'nden, her bir ES-PNB için farklı tampon alanlarından, ortak bir EmServ Planlayıcısı (ES-Scheduler)'nden ve ortak bir EmServ Haberleşme modülü (ESCM)'nden oluşur. Şekil 3.3.'de XLCM'in temel elemanları verilmiştir.



Şekil 3.3. XLCM'in Temel Elemanları

Çoklu-ortam uygulamalarına ait paketler kaynak düğüm üzerinde veya hedefe giden yol üzerindeki herhangi bir düğüm tarafından QoS sunmak amacı ile işaretlenir. Her bir paket ötelendiği yol üzerinde belirli bir ES-PNB almak amacıyla ESCP-Classifer tarafından ilgili tampon alanlarına yerleştirilirler. Dışarıdan gözlemlenebilen farklı davranışlar ve çapraz-katman tasarım metodolojisi aracılığıyla, ES-PNB birleşik ağ ve bağ katmanları aracılığı ile öteleme davranışını optimize eder. EmServ Kod-Noktası (ESCP) önceden tanımlı bir ES-PNB almak amacıyla bir paketin hedefe doğru gittiği yol üzerinde ES-field alanındaki değeri ifade eder. Aynı ESCP değeri taşıyan bütün paketler aynı ES-PNB göreceklerinden, QoS trafik kümesi için tanımlanır. ES-Scheduler belirli bir trafik planlama disiplinine göre farklı ES-PNB'lere ait paketleri planlar. İşaretlenmiş, sınıflandırılmış ve planlanmış QoS paketleri ESCM aracılığı ile ortama erişir ve ötelenir. Öteleme işleminde düğümlerin coğrafik lokasyonları göz önüne alınır. Coğrafik lokasyona göre ötelenen paketler nihayetinde hedefe ulaşırlar. Bir algılayıcı düğüm üzerindeki trafiğin nasıl sınıflandırıldığı, uygun ES-PNB'ye aktarıldığı ve planlandığı network kaynaklarını bölüştürmekle yükümlü EmServ Servis Sunma Politikaları Ajansı (ES-SPPA) tarafından gerçekleştirilir. ES-PNB içerisinde gerekirse kompleks trafik planlama disiplinleri, trafik ölçme ve tahmini gibi bir takım ölçüm ve karakterize etme teknikleri de kullanılabilir.

Bir uygulama XLCM ile doğrudan veya dolaylı olarak bir uygulama adaptasyon modülü aracılığı ile servis alır. Her bir paket ilgili ESCP ile işaretlenebilir. Bu durumda uygulamalar hangi paket için hangi QoS gereksiniminin karşılamasını istediğini belirtmiş olur. Yani QoS mimarisi EmServ servis modelinde her bir paket için dağıtık QoS sunulur. Dağıtık ve her bir paket için verilen bu servis modeli ağın dinamiklerine en kısa süre içerisinde adapte olur. Bununla birlikte ağdaki kaynakların en etkin biçimde kullanılmasını gerçekleştirmiş olacaktır.

4. ÇAPRAZ-KATMANLI HABERLEŞME PROTOKOLÜ (XLCP)

Bu tez kapsamında QoS mimarisinin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla XLCP içerisinde Çapraz-Katmanlı Haberleşme Protokolü (XLCP) geliştirilmiştir. XLCP sınıflandırma, tampon yönetimi, birleştirilmiş MAC ve yönlendirme aracılığı ile birçok farklı ve çok sayıda algılayıcı düğümü için geniş ölçeklenebilir ES-PNB'nin tanımlanmasına olanak tanır. XLCP merkezi ve global hiçbir bilgiye ihtiyaç duymadığından tamamen dağıtık ve basit bir protokoldür. Bunun sebebi XLCP'nin enerji, işlemci, bellek gibi kaynakları kısıtlı KÇAA için geliştirilmiş olmasıdır.

XLCP uygulamaların ağdan ne isteyebileceğinden ziyade ağın uygulamalara neler sunabileceği bakış açısı ile tasarlanmıştır. Bu nedenle XLCP belirli bir uygulama için değil birçok farklı uygulamanın kullanabileceği QoS sağlar. Belirli bir uygulama için daha optimum çözümler bulunabilir. Bu durumda XLCP ile birlikte bir takım adaptasyon katmanları veya ek protokoller kullanmak gerekebilir. XLCP kaynakları kısıtlı algılayıcı ağları üzerinde, geniş ölçeklenebilir olabilmesi için belirli tasarım ilkeleri göz önüne alınarak tasarlanmıştır. Bunlar:

- Basit: XLCP tamamen basit temel mekanizmalar kullanır.
- Dağıtık: XLCP herhangi bir merkezi bilgiye ihtiyaç duymaz. Bu bakımdan tamamen dağıtıktır.
- Durumsuz: XLCP uygulama veya ağ için herhangi bir durum bilgisi tutmaz. Bu nedenle durum bilgisinin tutarlılığını sağlamaya yönelik birtakım ek mekanizmalara gerek duymaz ve bellek gereksinimi minimaldir.
- Olasılıksal QoS: XLCP saptanabilir QoS sağlamaktan ziyade olasılıksal QoS sağlar. Bu nedenle ağın doyuma veya tıkanıklığa uğradığı durumlarda QoS düşmeleri olasılıksal olarak gözlemlenebilir. Uygulamalar isterlerse bu düşüşleri telafi etme yolunu seçebilirler. Bunun için ek mekanizmalar kullanabilirler.

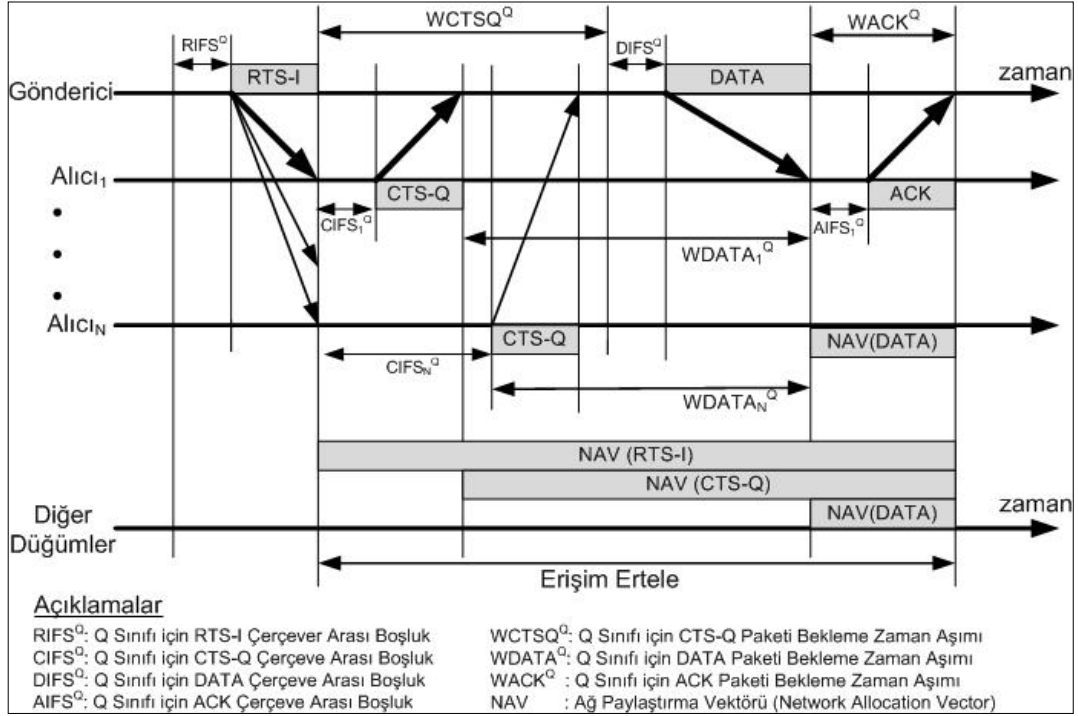
- Farklılaştırılmış Servisler: XLCP saptanabilir QoS sunabilen Bütünleşmiş Servisler mimarisi yerine olasılıksal QoS sunabilen farklılaştırılmış servisler mimarisine paralel olarak geliştirilmiştir.
- Çapraz-katman: Katmansal model artıklıklar ve bağımlılıklarla sonuçlandırıldığından kaynakları kısıtlı algılayıcı ağları için ağ üzerinde haberleşme sağlayabilecek tek bir XLCM katmanı kullanılmıştır. XLCM çapraz-katman tasarım ile ağ ve MAC katmanlarını birleştirir.

XLCP lokasyona farkındalığına dayalı yönlendirme kararları gereği coğrafik yönlendirmeyi kabullenir. SPEED [141] protokolü tarafından da uygulanabilirliği gösterilen bu kabullenme paketlerin hedeflerinin düğüm ID'sinden ziyade coğrafik konum ile tanımlanmasını gerektirir. Her bir paket hedefe (sink) daha yakın bir düğüme teslim edilirse, bir paket doğası gereği global topoloji bilgisi olmadan hedefe teslim edilir [187, 188]. Bununla birlikte algılayıcı düğümlerin kanala rastgele erişebildiği çekişmeli kanal erişim yöntemi kabul edilmiştir. Çekişmeli kanal erişim yöntemi düğümlerin kanala tamamen dağıtık olarak ve daha önceden bir koordinasyona ihtiyaç duymadan erişimlerini sağlar.

XLCP, ağ ve MAC katmanındaki birçok parametreyi QoS farklılaştırmada kullanmayı hedeflemektedir. MAC operasyonu esnasında MAC çerçeve yeniden-iletim sayısı, çerçeveler arası zaman boşluğunu ve geri-çekilme zaman aralıklarını QoS farklılaştırmada kullanır. Paketlerin hedefe doğru gittikleri yol üzerinde, bir sonraki düğümün seçilmesinde düğümlerin kalite seviyesini belirlemede QoS maliyet fonksiyonunu geribildirim olarak kullanır. QoS maliyet fonksiyonu MAC operasyonu esnasında geribildirim olarak iletilir. Coğrafik öteleme üzerine kurulu, farklı servis sınıfları için MAC ve ağ katmanı parametrelerini farklılaştırarak ve QoS maliyet fonksiyonu sayesinde, XLCP güvenilirlik, gecikme, işlem hacmi veya bunların kombinasyonu gibi birçok farklı alanda QoS sağlar.

XLCP içerisinde sunulan servislerin kümesi QoS_{class} olarak tanımlanmaktadır. Her bir düğüm üzerinde $Q \in QoS_{class}$ olarak tanımlanmış Q servis sınıfı parametresi yer alır. XLCP protokolü içerisinde yer alan bütün parametreler Q parametresinin T , τ , β , θ veya ϕ sembollerinin üstüne yazılması ile tanımlanır. Örneğin $\beta_{min-snr-rtst}^Q$ Q sınıfına ait RTS-I kontrol paketinin minimum eşik değerini ifade eder.

XLCP içerisinde çerçeve paketleri değişim sıralaması Şekil 4.1.'de verilmiştir. Detaylar aşağıdaki bölümlerde anlatılmıştır.



Şekil 4.1. XLCP'de Paket Değişim Sıralaması

4.1. Dağıtık Görev Döngüsü

Her bir düğüm dağıtık görev döngüsü uygular. Dağıtık görev döngüsü $\beta_{\text{duty-cycle}}^{\text{all-Q}}$ oranı ve $T_{\text{duty-cycle}}$ zaman parametresi ile tanımlanır. $\beta_{\text{duty-cycle}}^{\text{all-Q}}$ bütün servis sınıfları için ortak zaman döngüsü parametresidir. Her bir düğümün aktif ve uyuma döngüsü Denklem (4.1)'de ve Denklem (4.2)'de verilmiştir;

$$\tau_{\text{active}}^{\text{all}} = \beta_{\text{duty-cycle}}^{\text{all-Q}} \times T_{\text{duty-cycle}} \quad (4.1)$$

$$\tau_{\text{sleep}}^{\text{all}} = (1 - \beta_{\text{duty-cycle}}^{\text{all-Q}}) \times T_{\text{duty-cycle}} \quad (4.2)$$

Her bir algılayıcı düğümün aktif ve uyuma döngülerinin başı ve sonu senkronize edilmemiştir. Her bir algılayıcı düğümü $\tau_{\text{active}}^{\text{all}}$ süresince aktif kalır ve $\tau_{\text{sleep}}^{\text{all}}$ süresince uyur. Böylelikle dağıtık görev döngüsü gerçekleştirilmiş olur. Böyle bir dağıtık görev döngüsünün uygulanabilirliği XLP'de doğrulanmıştır [102, 105].

4.2. Gönderici İletim Soruşturması

Başlangıçta bütün düğümler boş (IDLE) durumdadırlar. IDLE durumda düğümler haberleşme kanalını dinlerler. Eğer bir düğüm kanalda haberleşme olduğunu fark ederse süre-ölçeri (timer) aktive eder ve kanalı meşgul olarak ayarlar. Haberleşme kanalı süre-ölçer sıfırlanana kadar meşgul olarak belirlenir. Süre-ölçerdeki kronometre zamanı tamama-gönderim RTS-I (Request to Send Investigation), teke-gönderim CTS-Q (Clear To Send Quality with cost value), teke-gönderim DATA (Data) ve teke-gönderim ACK (Acknowledge) veri ve kontrol paketlerindeki ES-Field'da yer alan Q kalite servis sınıfı (ESCP değeri)'na göre belirlenir. Eğer düğüm üzerinde Q servis sınıfına ait bir veri paketi mevcut ise ve kanal üzerinde daha önceden herhangi bir haberleşme mevcut değil ise düğüm RTSI durumuna geçer. RTS-I paketini iletmek üzere, çarpışma kaçınılmalı taşıyıcı algılamalı çoklu erişim (CSMA/CA) metoduna benzer Q sınıfına uygun CSMA_{RTSI} algoritmasını uygular. Q sınıfı için farklı parametrelerin kullanılması algılayıcı düğümün RTS-I kontrol paketini göndermek için kanala erişiminde QoS farklılaştırması ile sonuçlanacaktır. RTS-I paketleri Şekil 4.2.'de verilen CSMA_{RTSI} algoritması ile tamama-gönderilir.

Kanal bilinen temiz kanal değerlendirme (CCA) tekniklerinden biri kullanılarak dinlenebilir. Her bir RTS-I paketi kaynak düğüme ilişkin eşsiz düğüm numarası (id) , atlama sayısı, lokasyon bilgisi ve sıra numarası olarak kullanılacak eşsiz veri numarası içerir. Bir düğüm RTS-I paketini tamama-gönderdikten sonra CTS-Q paketini almak için CTSQ bekle (WCTSQ) durumuna geçer. WCTSQ durumunda bir algılayıcı düğüm kendisine gönderilen CTS-Q paketlerini toplamak için Denklem (4.3)'de verilen $\tau_{\text{timeout-rtsi}}^Q$ süresince haberleşme kanalını dinler;

$$\tau_{\text{timeout-rtsi}}^Q = \beta_{\text{timeout-rtsi}}^Q \times T_{\text{timeout-rtsi}} \quad (4.3)$$

CTS-Q paketi içerisinde ilişkili veri numarası, v kaynak düğüm numarası ve u hedef düğüm numarası yer alır. Bir v algılayıcı düğümü, u algılayıcı düğümünden gönderilen SNR değeri $\phi_{\text{snr-rtsi}}$ olan RTS-I paketi aldığı anda, Q servis sınıfı için u algılayıcı düğümü için tutulan $\phi_{\text{snr-rtsi}}^Q [u]$ değerini Denklem (4.4)'de verildiği şekilde günceller. SNR değeri eksponansiyel ağırlıklı hareket ortalaması (EWMA) yöntemiyle güncellenir;

$$\varphi_{\text{snr-rtsi}}^Q[u] = (1 - \beta_{\text{snr-rtsi-c}}^Q) \times \varphi_{\text{snr-rtsi}}^Q[u] + \beta_{\text{snr-rtsi-c}}^Q \times \varphi_{\text{snr-rtsi}}^Q \quad (4.4)$$

```

NB ← βmin NB-rtsiQ
BE ← βmin BE-rtsiQ
WHILE NB < βmax-CWrtsiQ DO
  CWrtsi ← 2BE - 1
  RIFSQ ← Random[βmin-CWrtsiQ, CWrtsi] × Trtsi-timeQ
  Listen_Communication_Channel_for RIFSQ
  IF(Channel_is_NOT_idle_for RIFSQ) THEN
    NB ← NB + 1
    BE ← min(BE + 1, βmax BE-rtsiQ)
  ELSE
    Send RTS-I Packet
    RETURN
  ENDIF
ENDWHILE

```

Şekil 4.2. CSMA_{RTSI} Algoritması

4.3. Alıcı-tabanlı QoS-maliyet Saptaması

Her bir düğümün lokasyonu veya seviyesi $l(u)$ olarak verilmiş olsun. Bir v düğümü u düğümünden tüme-gönderim RTS-I paketini aldığı anda, eğer algılayıcı düğüm IDLE durumunda ise ve $\beta_{l_{\min}}^Q \leq l(u) - l(v) \leq \beta_{l_{\max}}^Q$ durumu sağlanıyor ise (v düğümü hedefe belirli bir eşik değeri aralığında daha yakın ise), v algılayıcı düğümü CTSQ durumuna geçer ve CTS-Q paketi içerisinde iletilecek olan QoS-maliyet (θ_{QoS}^Q) değerini saptar. CTS-Q paketleri aday tekrar-gönderen (relay) v algılayıcı düğümünden RTS-I paketini gönderen u algılayıcı düğümüne teke-gönderim paketleridir. Değeri Şekil 4.3.'de verildiği gibi hesaplanır.


```

 $\theta_{\geq QoS} \leftarrow \theta_{\geq(\bullet)} \leftarrow \beta_{\theta_{\geq} - MIN}^Q$ 
 $\theta_{\leq QoS} \leftarrow \theta_{\leq(\bullet)} \leftarrow \beta_{\theta_{\leq} - MIN}$ 
IF  $(\varphi_{snr-rtssi}^Q [u] \geq \beta_{min-snr-rtssi}^Q)$  AND  $(\varphi_{snr-data}^Q [u] \geq \beta_{min-snr-data}^Q)$  AND
 $(\varphi_{snr-ctsqs}^Q \geq \beta_{min-snr-ctsqs}^Q)$  AND  $(\varphi_{snr-ack}^Q \geq \beta_{min-snr-ack}^Q)$  AND
 $(E_{rem} \geq \beta_{min-energy}^Q)$  THEN
 $\theta_{\geq(\bullet)} \leftarrow \theta_{\geq(\bullet)} + \{(\varphi_{snr-rtssi}^Q [u] - \beta_{min-snr-rtssi}^Q)\} \times \beta_{snr-rtssi}^Q$ 
 $\theta_{\geq(\bullet)} \leftarrow \theta_{\geq(\bullet)} + \{(\varphi_{snr-data}^Q [u] - \beta_{min-snr-data}^Q)\} \times \beta_{snr-data}^Q$ 
 $\theta_{\geq(\bullet)} \leftarrow \theta_{\geq(\bullet)} + \{(\varphi_{snr-ctsqs}^Q - \beta_{min-snr-ctsqs}^Q)\} \times \beta_{snr-ctsqs}^Q$ 
 $\theta_{\geq(\bullet)} \leftarrow \theta_{\geq(\bullet)} + \{(\varphi_{snr-ack}^Q - \beta_{min-snr-ack}^Q)\} \times \beta_{snr-ack}^Q$ 
 $\theta_{\geq QoS} \leftarrow \theta_{\geq(\bullet)} \times \beta_{\geq-QoS}^Q$ 
ENDIF
IF  $(\mu_{avg-data-rate} \leq \beta_{max-data-rate}^Q)$  AND
 $(\alpha_{cur-buffer-len} \leq \beta_{max-buffer-len}^Q)$  THEN
 $\theta_{\leq(\bullet)} \leftarrow \theta_{\leq(\bullet)} + \{(\beta_{max-data-rate}^Q - \mu_{avg-data-rate})\} \times \beta_{data-rate}^Q$ 
 $\theta_{\leq(\bullet)} \leftarrow \theta_{\leq(\bullet)} + \{(\beta_{max-buffer-len}^Q - \alpha_{cur-buffer-len})\} \times \beta_{buffer-len}^Q$ 
 $\theta_{\leq QoS} \leftarrow \theta_{\leq(\bullet)} \times \beta_{\leq-QoS}^Q$ 
ENDIF
 $\theta_{\geq(\bullet)} \leftarrow \{\theta_{\geq QoS} + \theta_{\leq QoS}\} \times \beta_{QoS}^Q$ 
 $\theta_{QoS}^Q \leftarrow \min\{\theta_{\geq(\bullet)}, \theta_{MAX-QoS}^Q\}$ 
RETURN  $\theta_{QoS}^Q$ 

```

Şekil 4.3. QoS-maliyet Algoritması

QoS-maliyet algoritmasında, rtsi, ctsq, data ve ack için belirlenen SNR durumları u ve v algılayıcı düğümleri arasında güvenilir bağın kurulmasını sağlar. Bu yolla aday tekrar-gönderen düğümler hedefe doğru güvenilir bir yol üzerinden verileri aktarır. Kalan enerji durumu Q servis sınıfı için düğüm üzerindeki enerjinin belli bir eşik değerinin üzerinde olmasını sağlar. Böylelikle enerji ağ üzerinde eşit olarak dağıtılmış olur. Veri oranı ve tampon alan uzunluğu lokal trafik yükünün kontrol edilmesini sağlar. Böylelikle lokal trafik tıkanıklığı önlenmiş olur. Bu durumlar aynı zamanda yol üzerinde sıcak alanların (hot spot) oluşmasını da engellemiş olur. Hesaplanan QoS-maliyet değeri yönlendirme kararı için tek-atlama geribildirim olarak iletir.

4.4. Alıcı QoS-maliyet Geribildirimi

QoS-maliyet (θ_{QoS}^Q) değerinin olduğu CTS-Q paketini göndermek için algılayıcı v düğümü alıcı QoS-maliyet geribildirimi adımını uygular. CTS-Q paketleri v düğümünden (aday tekrar-gönderen düğüm) u düğümüne (veri paketi kaynak düğümü) teke-gönderim yoluyla iletilir. CTS-Q paketi aday tekrar-gönderen düğüm (v) belirleyicisi (id), kaynak veya tekrar-gönderim düğümü (u) belirleyicisi, RTS-I ile ilişkilendirilmiş veri belirleyicisi, ve QoS-maliyet değerini içerir. Yalnızca $\beta_{lmin}^Q \leq l(u) - l(v) \leq \beta_{lmax}^Q$ ve $\theta_{QoS}^Q > \theta_{min-QoS}^Q$ durumlarını sağlayan düğümler θ_{QoS}^Q değerini iletmek için Şekil 4.4.'de verilen CSMA_{CTSQ} algoritmasını uygularlar.

Sabit maksimum QoS değeri ($\beta_{max-QoS}^Q$), θ_{QoS}^Q değerine bölüneceğinden daha büyük θ_{QoS}^Q değerine sahip olan algılayıcı düğümler daha küçük çekişme penceresi (CW_{ctsq})'ne sahip olacaklardır. Bu nedenle daha büyük θ_{QoS}^Q değeri için daha küçük CW_{ctsq} hesaplanacaktır. Daha büyük θ_{QoS}^Q değerine sahip olan algılayıcı düğümler daha küçük çekişme penceresine sahip olacaklarından kanala daha hızlı erişeceklerdir. Kanalı dinlerken eğer aday tekrar-gönderen düğüm aynı RTS-I paketiyle ilişkili kendi QoS-maliyet değerinden daha büyük QoS-maliyet değerine sahip bir CTS-Q saptarsa (kaynak, hedef ve veri belirleyici alanlarına bakarak), aday tekrar-gönderen algılayıcı düğümü CTS-Q paketini $\beta_{send-ctsq}^Q$ olasılıkla iletir. Aksi durumda CTS-Q paketini kesinlikle iletir. CTS-Q paketi gönderildikten sonra algılayıcı düğümü veri paketi bekle (WDATA) durumuna geçer. Algılayıcı düğüm veri (DATA) paketlerini $\tau_{timeout-ctsq}$ süresince haberleşme kanalını dinleyerek bekler. Zaman-bitimi süresi ($\tau_{timeout-ctsq}$) Denklem (4.5)'de verildiği şekilde hesaplanır;

$$\tau_{timeout-ctsq}^Q = \beta_{timeout-ctsq}^Q \times T_{timeout-ctsq} \quad (4.5)$$

Bir u algılayıcı düğümü Q servis sınıfına ilişkin SNR değeri $\phi_{snr-ctsq}$ olan bir CTS-Q paketini v algılayıcı düğümünden aldığı anda Q servis sınıfına ait olan SNR değerini Denklem (4.6)'da verildiği şekilde günceller;

$$\varphi_{\text{snr-ctsq}}^Q = (1 - \beta_{\text{snr-ctsq-c}}^Q) \times \varphi_{\text{snr-ctsq}}^Q + \beta_{\text{snr-ctsq-c}}^Q \times \varphi_{\text{snr-ctsq}}^Q \quad (4.6)$$

```

NB ← βmin NB-ctsqQ
BE ← βmin BE-ctsqQ
WHILE (NB < βmax-CWctsqQ) DO
    θQoS-N ← round(βmax-QoSQ ×  $\frac{\beta_{\text{max-QoS}}^Q}{\theta_{\text{QoS}}^Q}$ )
    θCW-QoS ← min(θmax-θQoSQ, θQoS-N)
    CWctsq ← (2BE - 1) × βCW-QoSQ × θCW-QoS
    CIFSQ ← Random[βmin-CWctsqQ, CWctsq] × Tctsq-timeQ
    Listen_Communication_Channel_for CIFSQ
    IF(Channel_is_NOT_idle_for CIFSQ) THEN
        NB ← NB + 1
        BE ← min(BE + 1, βmax BE-ctsqQ)
    ELSE
        IF((Observed θQoSQ While_Listening) > θQoSQ) THEN
            Send CTS-Q Packet _ with βsend-ctsqQ Pr obability
        ELSE
            Send CTS-Q Packet
        ENDIF
    RETURN
    ENDIF
ENDWHILE

```

Şekil 4.4. CSMA_{CTS-Q} Algoritması

4.5. Veri İletimi

WCTS-Q durumunda olan bir algılayıcı düğümü $\tau_{\text{timeout-rtsi}}^Q$ süresince CTS-Q paketlerini toplar. Bu süre dolduğunda veri paketini iletmek için DATA durumuna geçer. Veri paketi CTS-Q paketleri içerisinde en yüksek QoS-maliyet (θ_{QoS}^Q) değerini ileten aday düğümüne gönderilir. Veri paketini v aday tekrar-gönderen algılayıcı düğümüne iletmek için u algılayıcı düğümü Şekil 4.5'de verilen CSMA_{DATA} algoritmasını uygular.

Eğer $\beta_{ACK-enable}^Q = TRUE$ ise (yani alındı-bildirimi etkinleştirilmiş ise) bir algılayıcı düğüm veri paketini ilettikten sonra ACK paketi bekle (WACK) durumuna geçer. Aksi durumda algılayıcı düğümü boş (IDLE) duruma geçer. Bir algılayıcı düğümü kendisine yöneltilecek ACK paketi için $\tau_{timeout-data}^Q$ süresince haberleşme kanalını dinleyerek bekler. Bu sürenin nasıl hesaplanacağı Denklem (4.7)'de verilmiştir;

$$\tau_{timeout-data}^Q = \beta_{timeout-data}^Q \times T_{timeout-data} \quad (4.7)$$

WACK durumunda bir algılayıcı düğüm hiçbir ACK paketi almazsa CSMA_{DATA} algoritmasını en fazla $\beta_{reTx-data}^Q$ defa uygular. Eğer en fazla $\beta_{reTx-data}^Q$ defa ACK paketi alınmazsa, algılayıcı düğümü veri paketini düşürür ve IDLE durumuna geçer. Bir düğüm içerisinde Q sınıfına ait ayrılan toplam tampon alanın uzunluğu her bir Q sınıfı için toplam β_{bufLen}^Q veri paketi uzunluğundadır.

```

NB ← βmin NB-dataQ
BE ← βmin BE-dataQ
WHILE (NB < βmax-CWdataQ) DO
  CWdata ← 2BE - 1
  DIFSQ ← Random[βmin-CWdataQ, CWdata] × Tdata-timeQ
  Listen _ Communication _ Channel _ for DIFSQ
  IF(Channel _ is _ NOT _ idle _ for DIFSQ) THEN
    NB ← NB + 1
    BE ← min(BE + 1, βmax BE-dataQ)
  ELSE
    Send DATA Packet
    RETURN
  ENDIF
ENDWHILE

```

Şekil 4.5. CSMA_{DATA} Algoritması

Bir v algılayıcı düğümü, u algılayıcı düğümünden SNR değeri $\phi_{snr-data}$ olan bir DATA paketi aldığıında, u algılayıcı düğümüne ilişkin Q servis sınıfına ait olan SNR değerini Denklem (4.8)'de verildiği şekilde günceller;

$$\varphi_{\text{snr-data}}^Q[u] = (1 - \beta_{\text{snr-data-c}}^Q) \times \varphi_{\text{snr-data}}^Q[u] + \beta_{\text{snr-data-c}}^Q \times \varphi_{\text{snr-data}}^Q \quad (4.8)$$

4.6. Alındı Bildirimi

Bir algılayıcı düğümü DATA paketi aldığıında, eğer $\beta_{\text{ACK-enable}}^Q = \text{TRUE}$ ise algılayıcı düğümü Şekil 4.6’de verilen CSMA_{ACK} alındı bildirim algoritmasını uygular.

Bir algılayıcı düğümü ACK paketini gönderdikten sonra IDLE durumuna geçer. Bir algılayıcı düğümü SNR değeri $\varphi_{\text{snr-ack}}$ olan bir ACK paketi aldığıında Q servis sınıfına ilişkin ACK’e ait olan SNR değerini Denklem (4.9)’de verildiği şekilde günceller.

$$\varphi_{\text{snr-ack}}^Q = (1 - \beta_{\text{snr-ack-c}}^Q) \times \varphi_{\text{snr-ack}}^Q + \beta_{\text{snr-ack-c}}^Q \times \varphi_{\text{snr-ack}}^Q \quad (4.9)$$

```

NB ← βmin NB-ackQ
BE ← βmin BE-ackQ
WHILE (NB < βmax-CWackQ) DO
  CWack ← 2BE - 1
  AIFSQ ← Random[βmin-CWackQ, CWack] × Tack-timeQ
  Listen_Communication_Channel_for AIFSQ
  IF (Channel_is_NOT_idle_for AIFSQ) THEN
    NB ← NB + 1
    BE ← min(BE + 1, βmax BE-ackQ)
  ELSE
    Send ACK Packet
    RETURN
  ENDIF
ENDWHILE

```

Şekil 4.6. CSMA_{ACK} Algoritması

5. XLCP'NİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

XLCP'nin tasarım ve operasyonu üzerine daha ayrıntılı performans değerlendirmeleri yapabilmek için, kendi geliştirdiğim benzetim ortamında bir çok benzetim çalıştırılmıştır. Bu benzetim çalışmalarının analizi ve performans değerlendirmeleri aşağıdaki bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır.

5.1. Benzetim Ortamı

Bildiğimiz kadarı ile KÇAA için çapraz-katman protokol ve algoritma geliştirmek için henüz bir benzetim yazılımı maalesef mevcut değildir. XLCP'nin performans değerlendirilmesi Matlab [189] ortamında kendi geliştirdiğim benzetim yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Matlab ortamında, Matlab diliyle geliştirilen benzetim yazılımının kanal haberleşme parametrelerinin belirlenmesinde NS-2 [190] benzetim yazılımı örnek olarak alınmıştır. Genel benzetim ortamında kullanılan parametreler Tablo 5.1.'de verilmiştir.

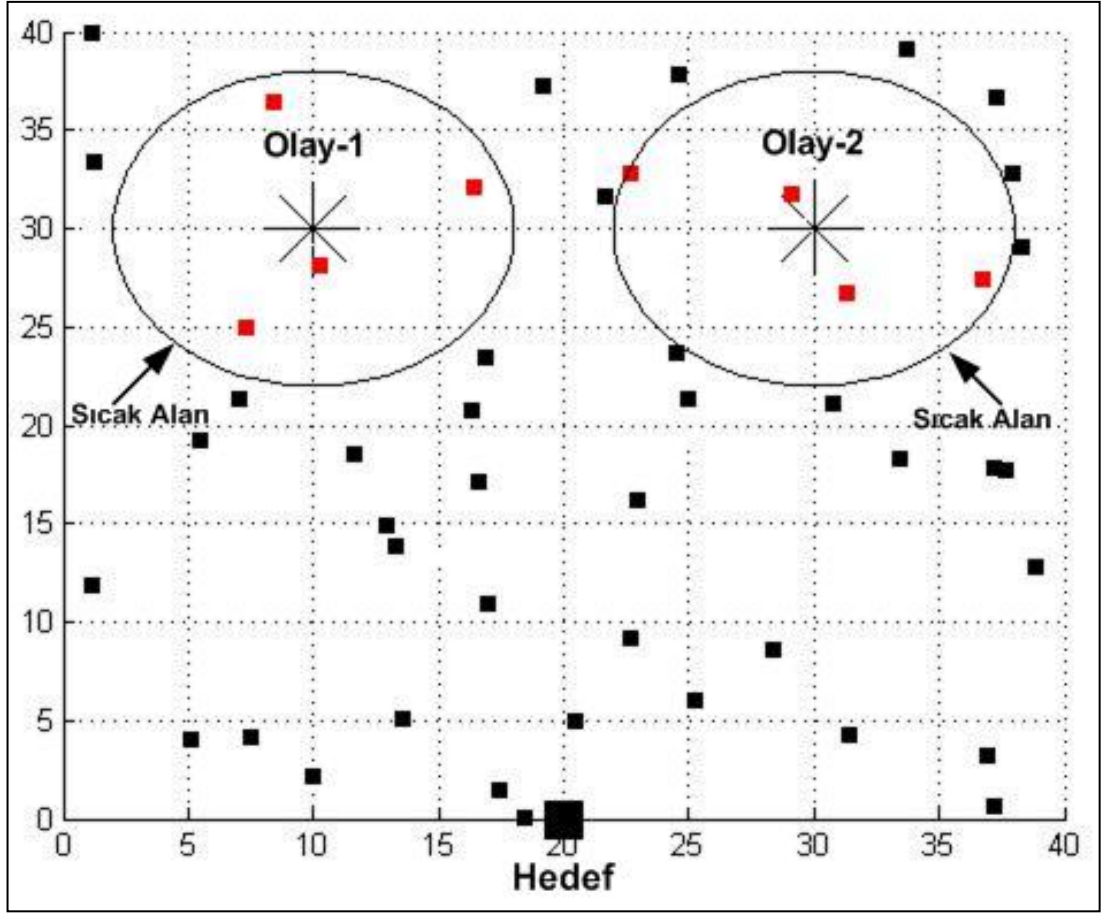
40m X 40m (1600 m²) bir araziye 48 algılayıcı düğümü tekdüze dağılımla yerleştirilmiştir. Düğümler ağ içerisinde boşluk alan bulunmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Genel olarak boşluk problemi yüz yönlendirme [191-194] teknikleriyle çözülebilir. Hedef'in koordinatı (20,0)m'dir. Her bir benzetimde iki olay aynı zamanda belirli periyotlarla oluşmaktadır. İlk olayın koordinatı (10,30)m'dir ve ikinci olayın koordinatı (30,30)m'dir. Olayın etki menzili 8m'dir. Yani olayın olduğu noktanın 8m çevresinde bulunan düğümler olayı algılar. Örnek algılayıcı ağı topolojisi Şekil 5.1.'de verilmiştir.

Yalnızca 2 QoS sınıfı tanımlanmıştır. Her bir periyotta olay menzili içerisinde yer alan kaynak algılayıcı düğümler hedefe iletilmek üzere her bir servis sınıfı için birer olay paketi oluşturur. Toplam oluşturulan olay paketi sayısı olay menzili içerisinde yer alan algılayıcı düğüm sayısına göre değişiklik gösterir. Eğer olay menzili içerisinde toplam 10 algılayıcı düğümü varsa her bir periyotta toplam 2×10 olay

paketi hedefe iletilmek üzere oluşturulacaktır. Eğer kaynak düğümlerde yeterli tampon alanı yok ise oluşturulan olay paketleri için bellek alanı bulunamadığından bu paketler tampon alana yerleştirilmeden düşürülecektir.

Tablo 5.1. Genel Benzetim Parametreleri

Algılayıcı Düğümü Arazi alanı	40×40
Algılayıcı Düğüm Sayısı	48
Algılayıcı Düğüm Yerleşim Yöntemi	Tekdüze
Benzetim Zamanı	10 saniye
Olay Sayısı	2
Olay Etki Menzili	8 m
Bant genişliği	1 Mbps
Radyo Menzili	10 m
BER	10 ⁻⁸
İletim (Tx) Enerjisi	24,75 mW
Alış (Rx) Enerjisi	13,5 mW
Boş-durma (Idle) Enerjisi	1,45 mW
Uyuma Enerjisi	15 µW
Toplam Tampon Alan Uzunluğu	100 veri paketi
Maksimum Tekrar-iletim Sayısı	8 kere
ES-Planlayıcısı	FIFO
Veri Paketi Uzunluğu	100 Bytes
RTS-I, CTS-Q Paketi Uzunluğu	20 Bytes
ACK Paketi Uzunluğu	15 Bytes



Şekil 5.1. Örnek Algılayıcı Ağı Topolojisi

Tablo 5.2. XLCP Benzetim Parametreleri (x=rtssi, ctsq, data, ack)

$\beta_{\text{duty-cycle}}^{\text{all-Q}}$	$\beta_{\text{min NB-x}}^{\text{Q}}$	$\beta_{\text{max NB-x}}^{\text{Q}}$	$\beta_{\text{min BE-x}}^{\text{Q}}$	$\beta_{\text{max BE-x}}^{\text{Q}}$	$\beta_{\text{min CW-x}}^{\text{Q}}$	$\beta_{\text{snr-x-c}}^{\text{Q}}$	$\beta_{\text{ACK-enable}}^{\text{Q}}$
1	4	10	3	8	1	0,2	TRUE

Performans analizleri grafiklerinde $1\text{Hz} = 1\text{sec}^{-1}$ olmak üzere her bir saniyede oluşan olay frekansı (Herz) kullanılmaktadır. Örneğin 2,5 Hz olay frekansı, iki olayın $1 \div 2,5$ saniyelik periyotlarla oluşması anlamına gelir. Tablo 5.2.'de XLCP'nin Q=1 ve Q=2 QoS sınıfları için benzetimlerde kullanılan parametre değerleri verilmiştir.

Bütün benzetimlerde kanal sabit 10^{-8} bit hata oranı (BER) ile çalıştırılmıştır. Herbir benzetim 10 s (saniye) çalıştırılmış ve her bir denemede farklı topolojide çalışan 5 farklı denemenin ortalaması alınmıştır. Aksi belirtilmedikçe bütün benzetimlerde tablolarda belirtilen değerler kullanılmıştır.

XLCP'nin çalışması ve performansı üzerine daha derinlemesine analizler yapabilmek için bir çok benzetim çalıştırılmıştır. Performans değerlendirmelerinin yapılmasında aşağıda verilen QoS performans metrikleri kullanılmıştır.

5.2. QoS Performans Metrikleri

Performans değerlendirmelerinde aşağıda verilen performans metrikleri kullanılmıştır.

- Olay Kayıp Oranı: Olay kayıp oranı, olay kaynak düğümlerinde toplam kaybedilen paket sayısının toplam üretilen paket sayısına oranıdır. Olay kaynak düğümlerinde bellek yetersizliğinden dolayı üretilen paketler tampon alana yerleştirilemezler. Bu paketler olay kaynak algılayıcı düğümünde düşürüldüğünden kaybedilirler.
- Ortalama Gecikme: Hedefte alınan bütün olay paketlerin hedeften kaynağa ulaşma sürelerindeki farkın ortalamasıdır. Bu fark paketin hedefte alındığı süre ile kaynakta tampon alana yerleştirildiği sürenin çıkarılması ile hesaplanır. Gecikme aynı zamanda latens olarak da bilinir. Bu gecikme paket kaynaktan hedefe doğru iletilirken tampon alanda bekleme süresi ve MAC çekişme gecikmelerinden kaynaklanır. Protokolün işlemcide işleme süreleri göz ardı edilmiştir.
- Olay Güvenirliği: Hedefte alınan toplam eşsiz paketlerin, toplam kaynaklarda oluşturulan olay paketlerine oranıdır. Bazı paketler kaynak algılayıcı düğümlerinde yeterli tampon alan olmadığından ve bazı paketler CSMA sırasında çakışmadan dolayı düşürülür veya kaybolurlar. Bazı paketler ACK paketinin ulaşmamasından ağ içerisinde birden fazla kez iletebilirler. Bu durumda hedefte aynı paketin birden fazla kopyası ulaşmış olur. Olay Güvenirliği'nde birden fazla olan kopyanın yalnızca bir kopyası işleme alınır.
- Algılanan Olay Güvenirliği : Hedefte alınan toplam eşsiz paketlerin, toplam olay kaynaklarında tampon alana yerleştirilen olay paketlerine oranıdır. Bazı paketler olayın olduğu kaynak düğümlerde yeterli tampon alanı olmadığından düşürülürler. Algılanan Olay Güvenirliği'nde bu paketler oran hesabında kullanılmazlar. Bazı paketler ACK paketinin ulaşmamasından ağ içerisinde birden fazla kez iletebilirler. Bu durumda hedefte aynı paketin birden fazla

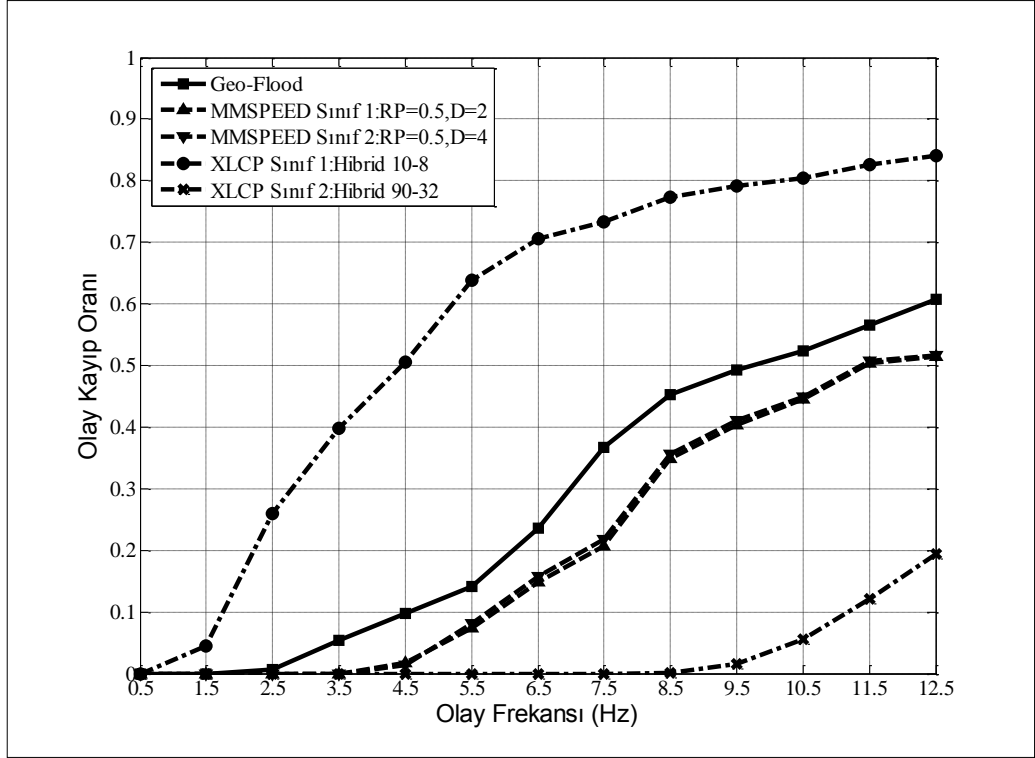
kopyası ulaşmış olur. Algılanan Olay Güvenirliği'nde birden fazla olan kopyanın yalnızca bir kopyası işleme alınır.

- İşlem Hacmi: Hedefte saniyede alınan bit sayısıdır (bps). Bu metriği hesaplariken bir paketin birden fazla kopyası hedefte alınacağından, bütün ulaşan olay paketleri işleme alınır.
- Paket-başına Enerji Gideri: Hedefte alınan bütün paketlerin her biri için ağda paketlerin iletilmesi için harcanan enerji gideridir. Paket-başına Enerji Gideri protokolün enerji verimliliği hakkında bilgi verir. Çok fazla enerji gideri az enerji verimliliği anlamına gelir.

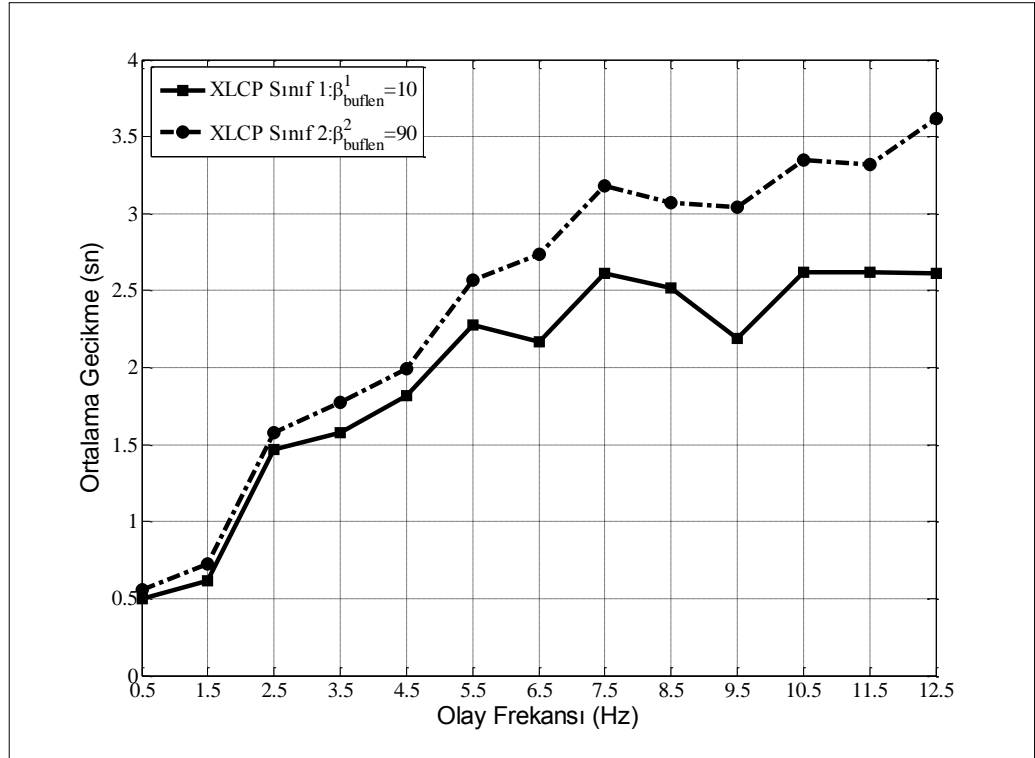
5.3. Tampon Alan ile Performans Değerlendirmesi

Tampon alan ile performans değerlendirmesinde tampon alanın performansa etkisi analiz edilmiş ve grafikleri Şekil 5.2.'de verilmiştir. Tampon alan her bir algılayıcı düğümünde veri paketleri için ayrılan tampon alanın (β_{buflen}^Q) uzunluğudur. Sınıf-1 için $\beta_{\text{buflen}}^1 = 10$ paket ve Sınıf-2 için $\beta_{\text{buflen}}^2 = 90$ paket tampon alan ayrılmıştır. Tampon alanın QoS üzerine etkisini gözlemleyebilmek amacıyla, tampon alan dışında diğer bütün parametreler aynı değerde tutulmuştur. Olay frekansı 1,0 Hz aralıklarla 0,5 Hz'den 12,5 Hz'e kadar arttırılmıştır. Olay frekansına karşılık gelen Olay Kayıp Oranı Şekil 5.2.a'da, Ortalama Gecikme Şekil 5.2.b'de, Olay Güvenirliği Şekil 5.2.c'de, Algılanan Olay Güvenirliği Şekil 5.2.d'de, İşlem Hacmi Şekil 5.2.e'de ve Paket-başına Enerji Gideri Şekil 5.2.f'de sunulmuştur.

Tampon Alan Uzunluğu iki farklı sınıf için Olay Kayıp Oranı, Ortalama Gecikme, Olay Güvenirliği, Algılanan Olay Güvenirliği, İşlem Hacmi ve Paket-başına Enerji Gideri QoS metriklerini farklılaştırabilmektedir. Sınıf-1 için Ortalama Gecikme 2,7 s, Sınıf-2 için Ortalama Gecikme 3,7 s ile sınırlandırılmıştır. Daha az tampon alan ayrılan sınıfın Olay Güvenirliği 4,5 Hz'den itibaren daha çok tampon alan ayrılan sınıfın Olay Güvenirliği'nden daha düşüktür. Olay Güvenirliği'nin tersine Sınıf-1'in Algılanan Olay Güvenirliği Sınıf-2'nin Algılanan Olay Güvenirliğinden daha yüksektir. Paket-başına Enerji Gideri, İşlem Hacmi ile ters orantılıdır. İşlem Hacmi ve Paket-başına Enerji Gideri grafiklerindeki anomaliler 5 denemenin ortalamasının alınmasından kaynaklanmaktadır.

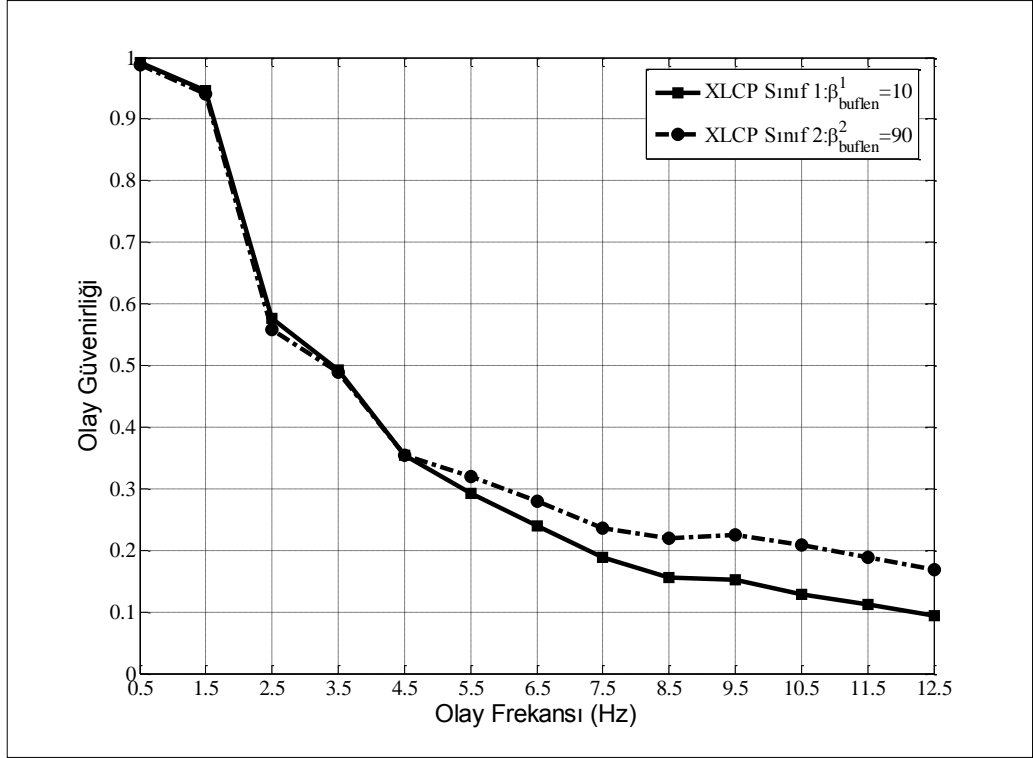


(a)

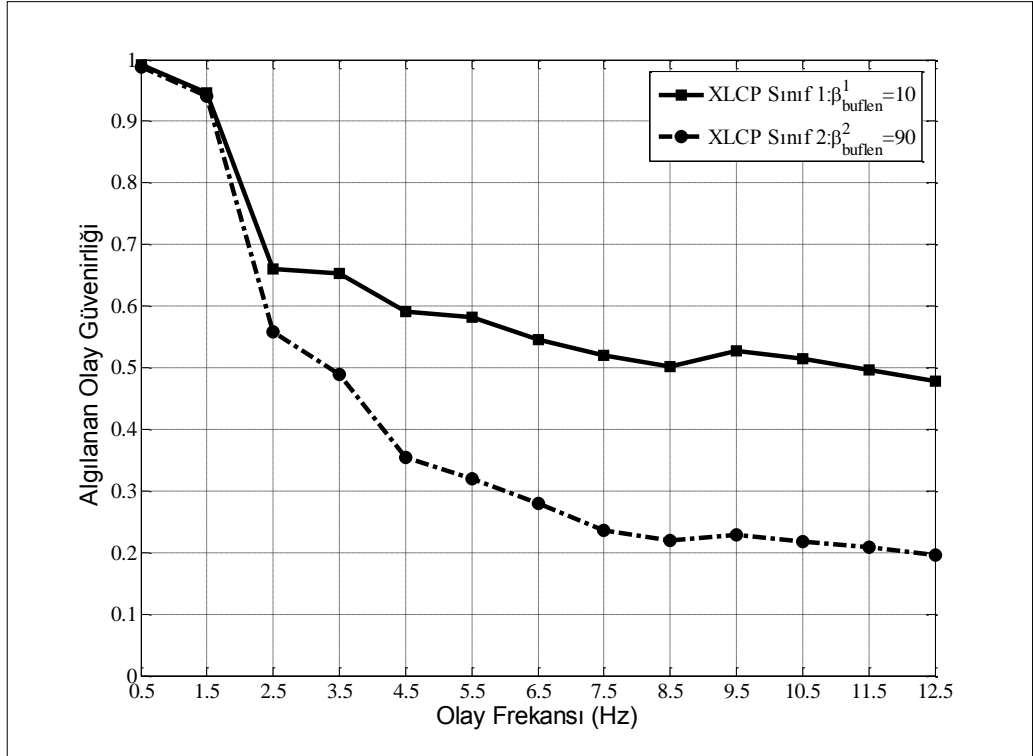


(b)

Şekil 5.2. Tampon Alan Uzunluğunun QoS Etkisi

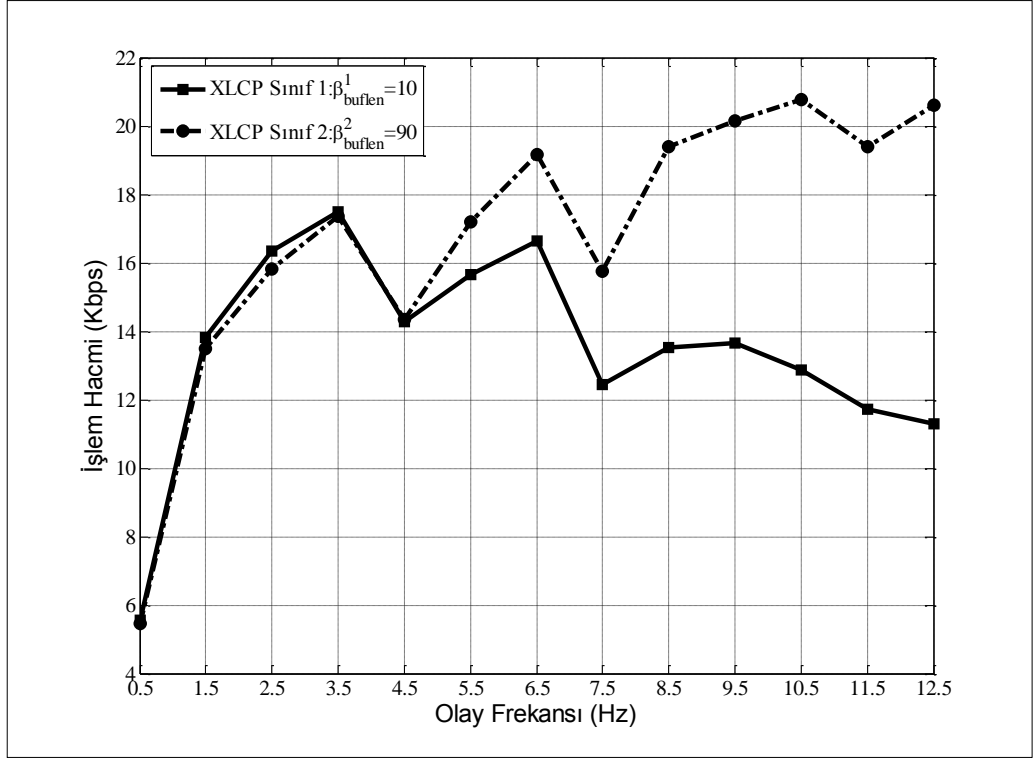


(c)

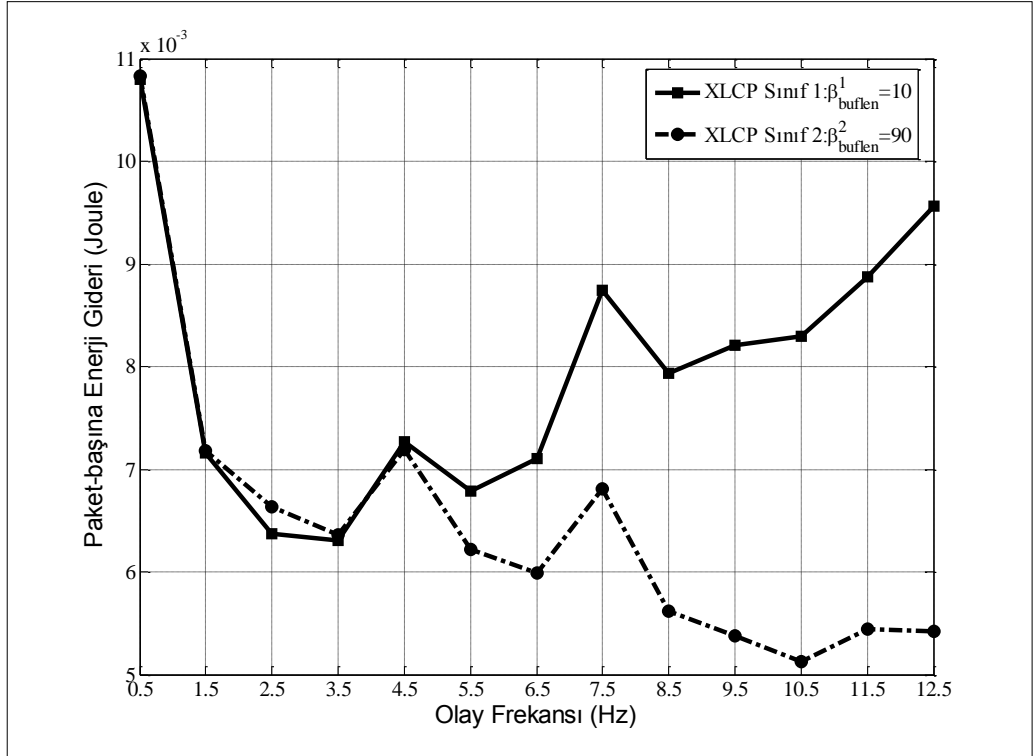


(d)

Şekil 5.2. (Devam) Tampon Alan Uzunluğunun QoS Etkisi



(e)



(f)

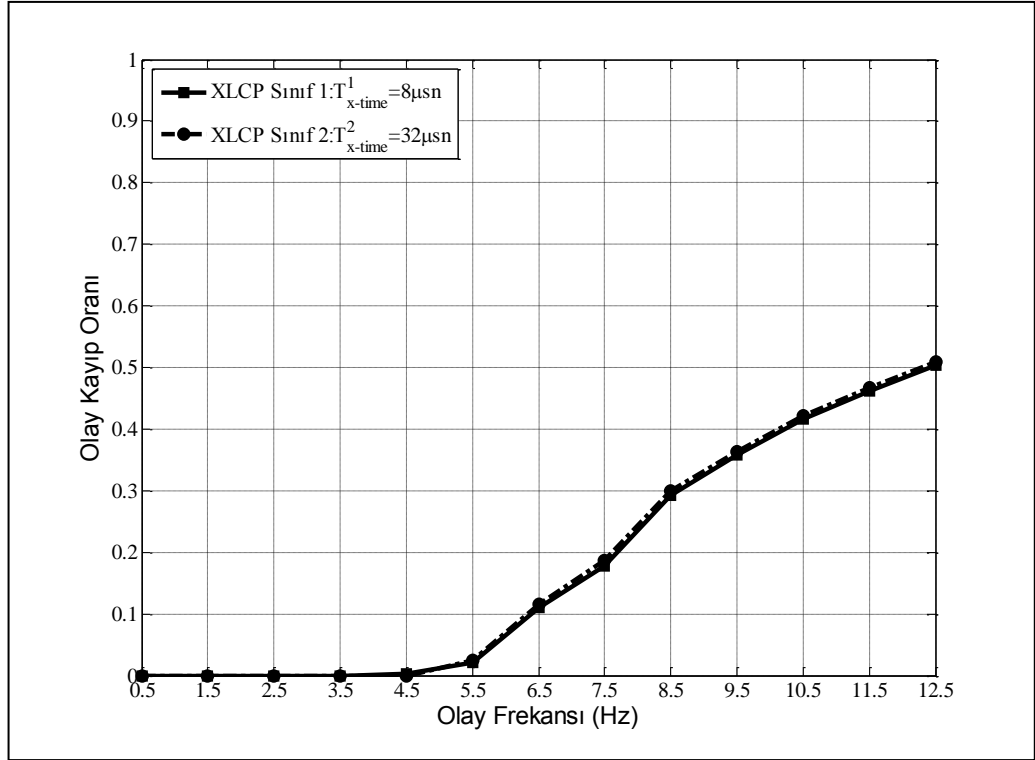
Şekil 5.2. (Devam) Tampon Alan Uzunluğunun QoS Etkisi

5.4. Çekişme Zaman Dilimi Uzunluğu ile Performans Değerlendirmesi

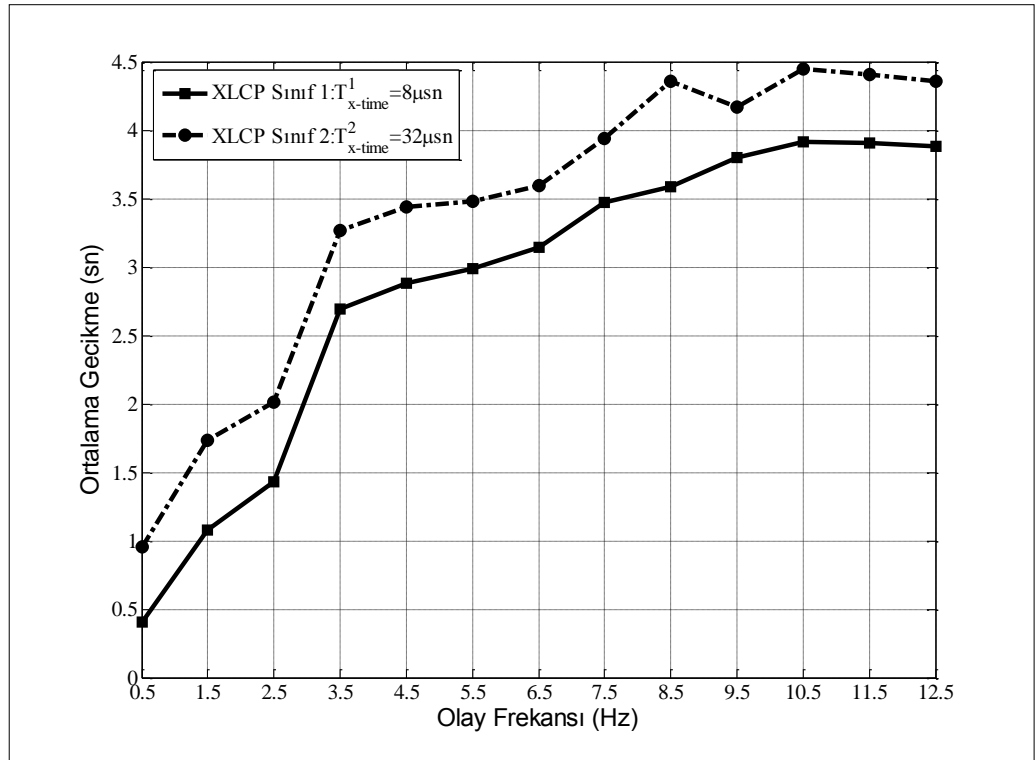
Çekişme zaman dilimi ile performans değerlendirmesinde çekişme zaman diliminin performansa etkisi analiz edilmiş ve grafikleri Şekil 5.3.'de verilmiştir. Çekişme zaman dilimi (T_{x-time}^Q x=rttsi, ctsq, data, ack), XLCP'nin çekişme işlemi esnasında kanalı dinleme süresi katsayısıdır. Sınıf-1 için $T_{x-time}^1 = 8 \mu s$ ve Sınıf-2 için $T_{x-time}^2 = 32 \mu s$ olarak belirlenmiştir. Çekişme zaman diliminin QoS üzerine etkisini gözlemleyebilmek amacıyla, çekişme zaman dilimi dışında diğer bütün parametreler aynı değerde tutulmuştur. Olay frekansı 1,0 Hz aralıklarla 0,5 Hz'den 12,5 Hz'e kadar arttırılmıştır. Olay frekansına karşılık gelen Olay Kayıp Oranı Şekil 5.3.a'da, Ortalama Gecikme Şekil 5.3.b'de, Olay Güvenirliği Şekil 5.3.c'de, Algılanan Olay Güvenirliği Şekil 5.3.d'de, İşlem Hacmi Şekil 5.3.e'de ve Paket-Başına Enerji Gideri Şekil 5.3.f'de sunulmuştur.

Çekişme Zaman Dilimi Uzunluğu iki farklı sınıf için Ortalama Gecikme, İşlem Hacmi ve Paket-başına Enerji Gideri QoS metriklerini farklılaştırabilmektedir. Sınıf-1 için Ortalama Gecikme 0,5 Hz'de 0,40 s'den, 12,5 Hz'de 3,87 s'ye çıkmaktadır. Sınıf-2 için Ortalama Gecikme 0,5 Hz'de 0,95 s'den 12,5 Hz'de 4,35 s'ye çıkmaktadır. Sınıf-1 için Ortalama Gecikme 4,0 s, Sınıf-2 için Ortalama Gecikme 4,5 s ile sınırlandırılmıştır. Daha düşük çekişme zaman dilimine sahip sınıfın Ortalama Gecikme'si daha yüksek çekişme zaman dilimine sahip sınıfın Ortalama Gecikme'sinden daha düşüktür. Sınıf-1 için İşlem Hacmi 0,5 Hz'de 5504 Kbps'den, 12,5 Hz'de 8960 Kbps'e çıkmaktadır. Sınıf-2 için İşlem Hacmi 0,5 Hz'de 5456 Kbps'den, 12,5 Hz'de 7968 Kbps'e çıkmaktadır. Daha düşük çekişme zaman dilimine sahip sınıfın İşlem Hacmi 0,5 Hz'den itibaren daha yüksek çekişme zaman dilimine sahip sınıfın İşlem Hacmi'nden daha yüksektir. Sınıf-1 için Paket-başına Enerji Gideri 0,5 Hz'de 0,01 Joule'den, 12,5 Hz'de 0,007 Joule'e düşmektedir. Sınıf-2 için Paket-başına Enerji Gideri 0,5 Hz'de 0,01 Joule'den, 12,5 Hz'de 0,008 Joule'e düşmektedir.

Sınıf-1 ve Sınıf-2 için tampon alan uzunlukları aynı olduğundan Olay Kayıp Oranı, Olay Güvenirliği ve Algılanan Olay Güvenirliği QoS metrikleri farklılaşmamaktadır.

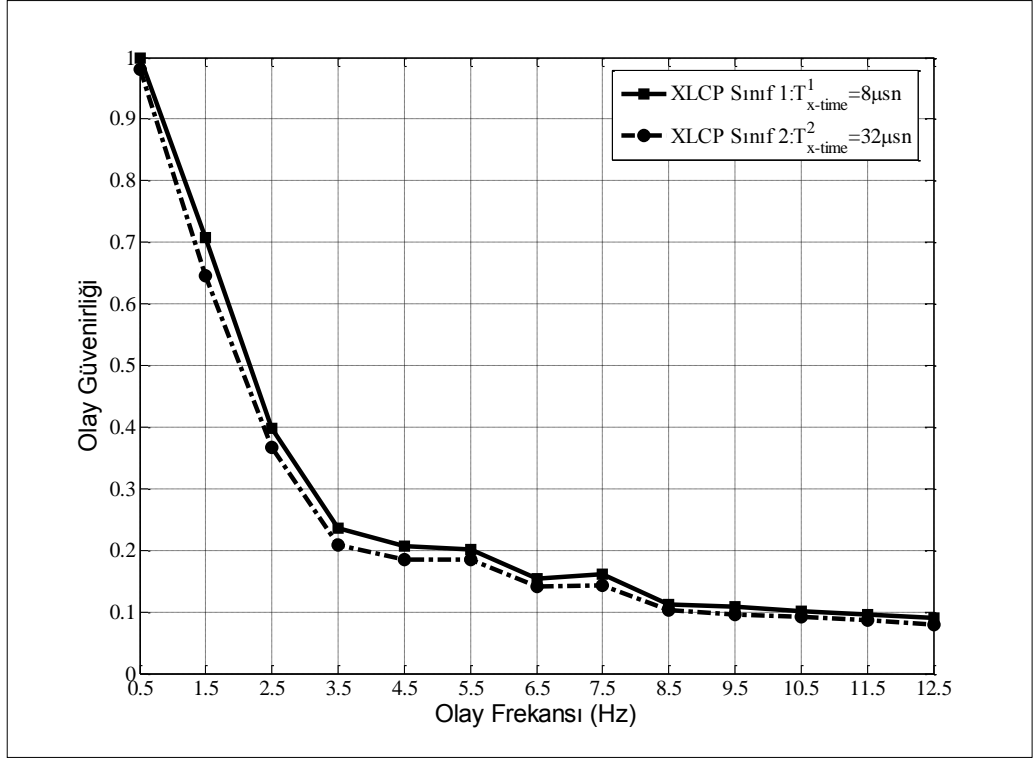


(a)

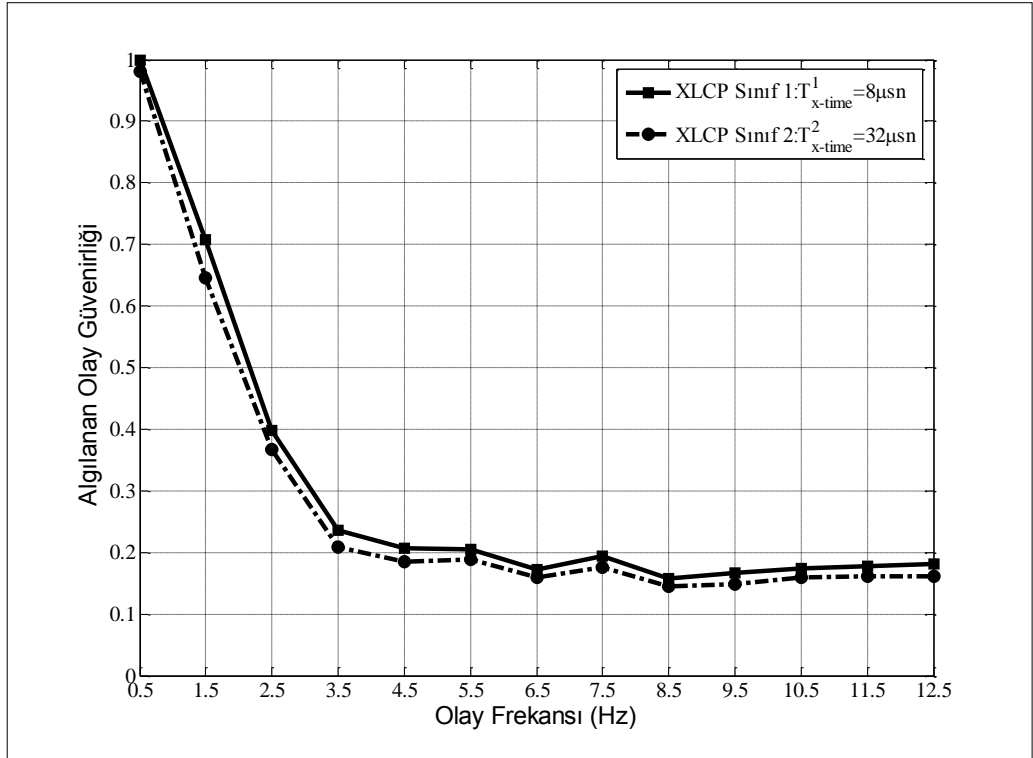


(b)

Şekil 5.3. Çekişme Zaman Dilimi Uzunluğunun QoS Etkisi

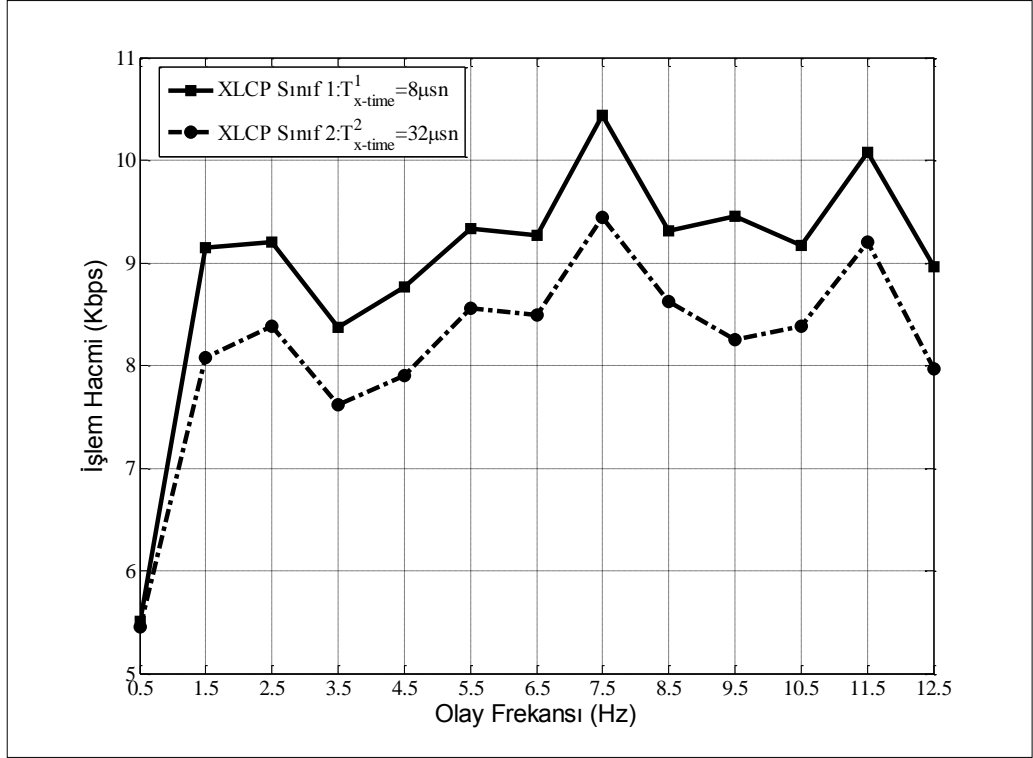


(c)

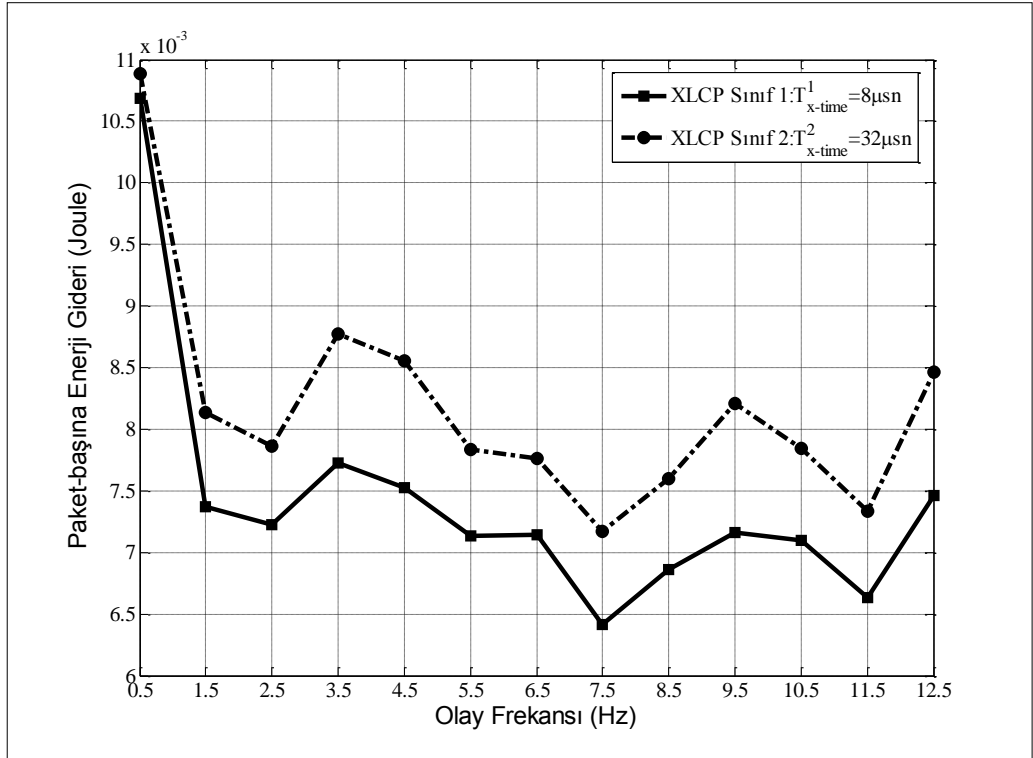


(d)

Şekil 5.3. (Devam) Çekişme Zaman Dilimi Uzunluğunun QoS Etkisi



(e)



(f)

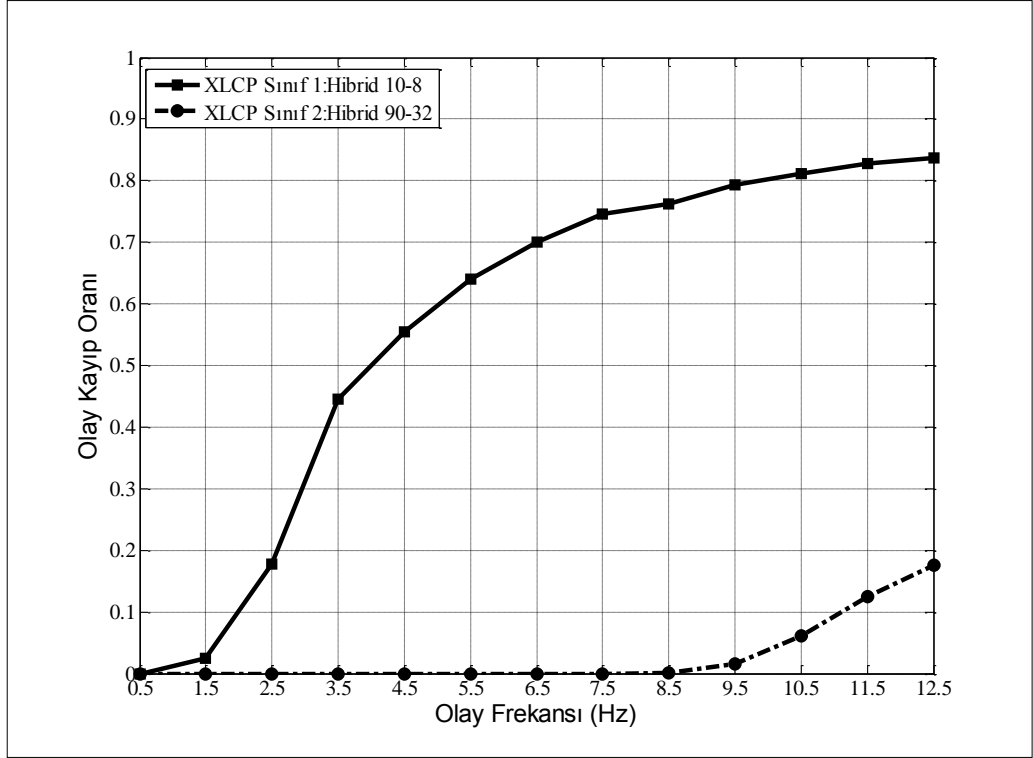
Şekil 5.3. (Devam) Çekişme Zaman Dilimi Uzunluğunun QoS Etkisi

5.5. Tampon Alanı ve Çekişme Zaman Dilimi ile Birlikte Performans Değerlendirmesi

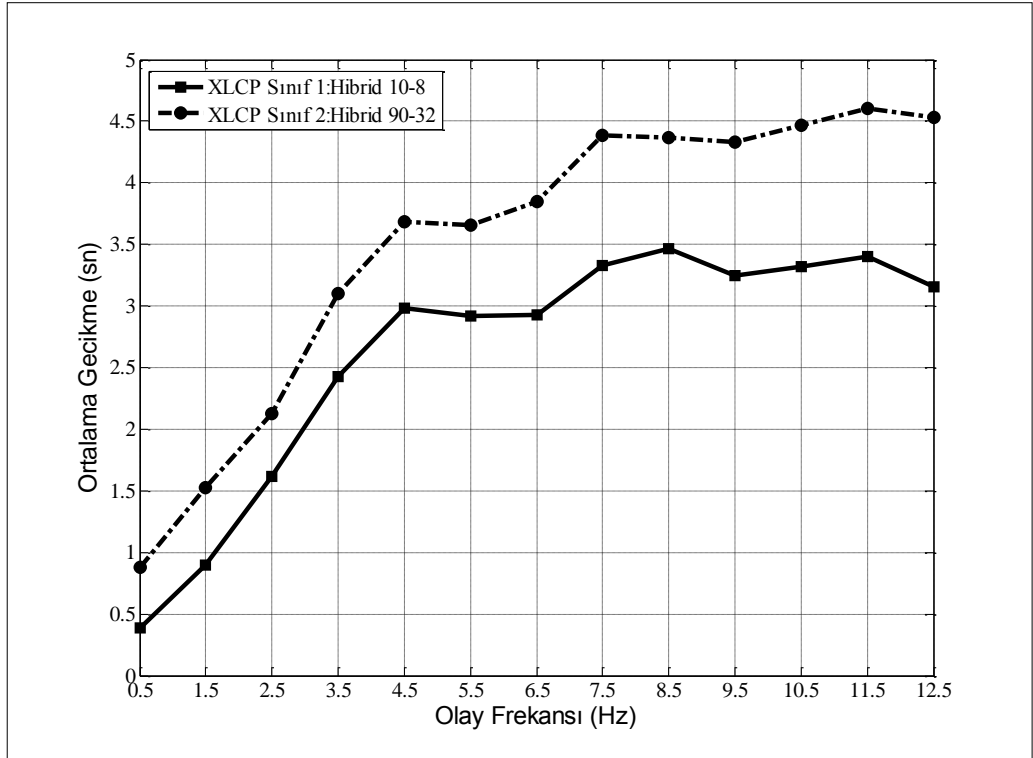
Tampon alan ve çekişme zaman dilimi ile performans değerlendirmesinde tampon alanın ve çekişme zaman diliminin birlikte performansa etkisi analiz edilmiş ve grafikleri Şekil 5.4.'de verilmiştir. Tampon alan her bir algılayıcı düğümünde veri paketleri için ayrılan tampon alanın uzunluğudur (β_{buflen}^Q). Çekişme zaman dilimi XLCP'nin çekişme işlemi esnasında kanalı dinleme süresi katsayısıdır ($T_{x\text{-time}}^Q$ x=rtsi, ctsq, data, ack). Sınıf-1 için $\beta_{\text{buflen}}^1 = 10$ paket, $T_{x\text{-time}}^1 = 8 \mu\text{s}$ ve Sınıf-2 için $\beta_{\text{buflen}}^2 = 90$ paket, $T_{x\text{-time}}^2 = 32 \mu\text{s}$ belirlenmiştir. Tampon alanın ve çekişme zaman diliminin QoS üzerine etkisini gözlemleyebilmek amacıyla, tampon alan ve çekişme zaman dilimi dışında diğer bütün parametreler aynı değerde tutulmuştur. Olay frekansı 1,0 Hz aralıklarla 0,5 Hz'den 12,5 Hz'e kadar arttırılmıştır. Olay frekansına karşılık gelen Olay Kayıp Oranı Şekil 5.4.a'da, Ortalama Gecikme Şekil 5.4.b'de, Olay Güvenirliği Şekil 5.4.c'de, Algılanan Olay Güvenirliği Şekil 5.4.d'de, İşlem Hacmi Şekil 5.4.e'de ve Paket-başına Enerji Gideri Şekil 5.4.f'de sunulmuştur.

Tampon Alanı ve Çekişme Zaman Dilimi Uzunluğu birlikte iki farklı sınıf için Olay Kayıp Oranı, Ortalama Gecikme, Algılanan Olay Güvenirliği, İşlem Hacmi ve Paket-başına Enerji Gideri QoS metriklerini farklılaştırabilmektedir. Ancak Olay Güvenirliği QoS metriğini farklılaştıramamaktadır.

Sınıf-1 için Ortalama Gecikme 0,5 Hz'de 0,38 s'den, 12,5 Hz'de 3,15 s'ye çıkmaktadır. Sınıf 2 için Ortalama Gecikme 0,5 Hz'de 0,87 s'den 12,5 Hz'de 4,53 s'ye çıkmaktadır. Sınıf-1 için ortalama gecikme 4,0 s, Sınıf-2 için ortalama gecikme 4,5 s ile sınırlandırılmıştır. 0,5 Hz ve 5,5 Hz arasında Sınıf-1'in İşlem Hacmi Sınıf-2'nin İşlem Hacmi'nden daha yüksektir. 5,5 Hz ve 12,5 Hz arasında Sınıf-1'in İşlem Hacmi Sınıf-2'nin İşlem Hacmi'nden daha düşüktür. Bunun nedeni Tampon alan Uzunluğu'nun ve Çekişme Zaman dilimi Uzunluğu'nun ayrı ayrı farklı aralıklarda farklı sınıfın lehine daha yüksek değerlerde İşlem Hacmi vermesidir. Paket-başına Enerji Gideri, İşlem Hacmi'nin tersine sonuç vermiştir.

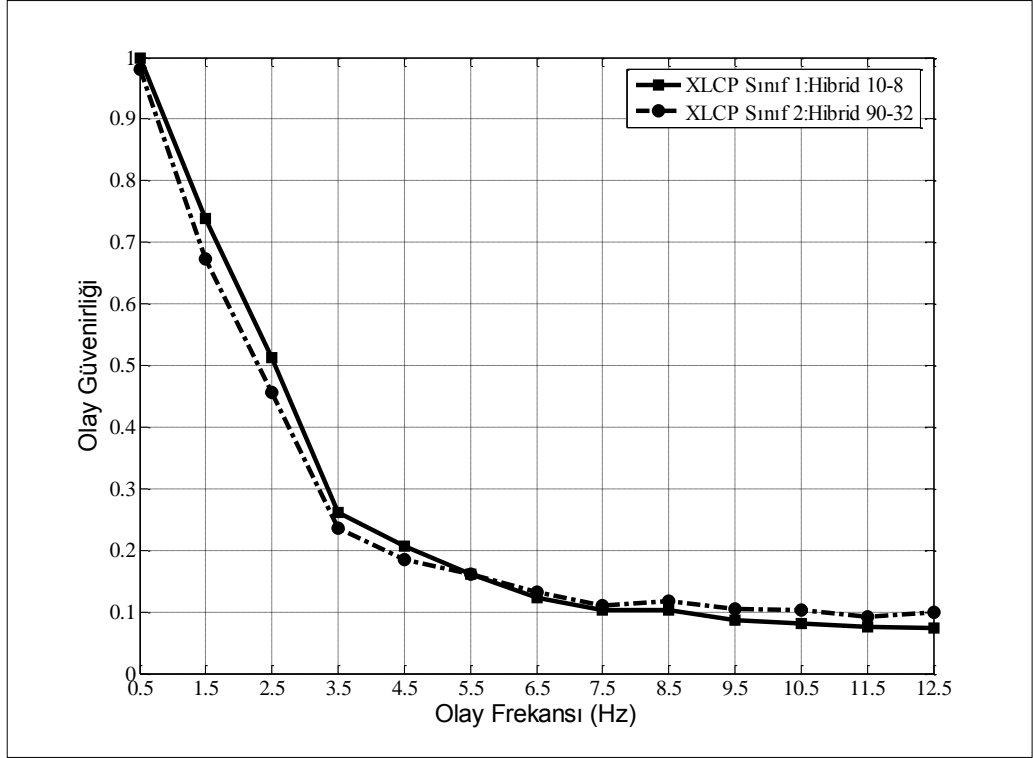


(a)

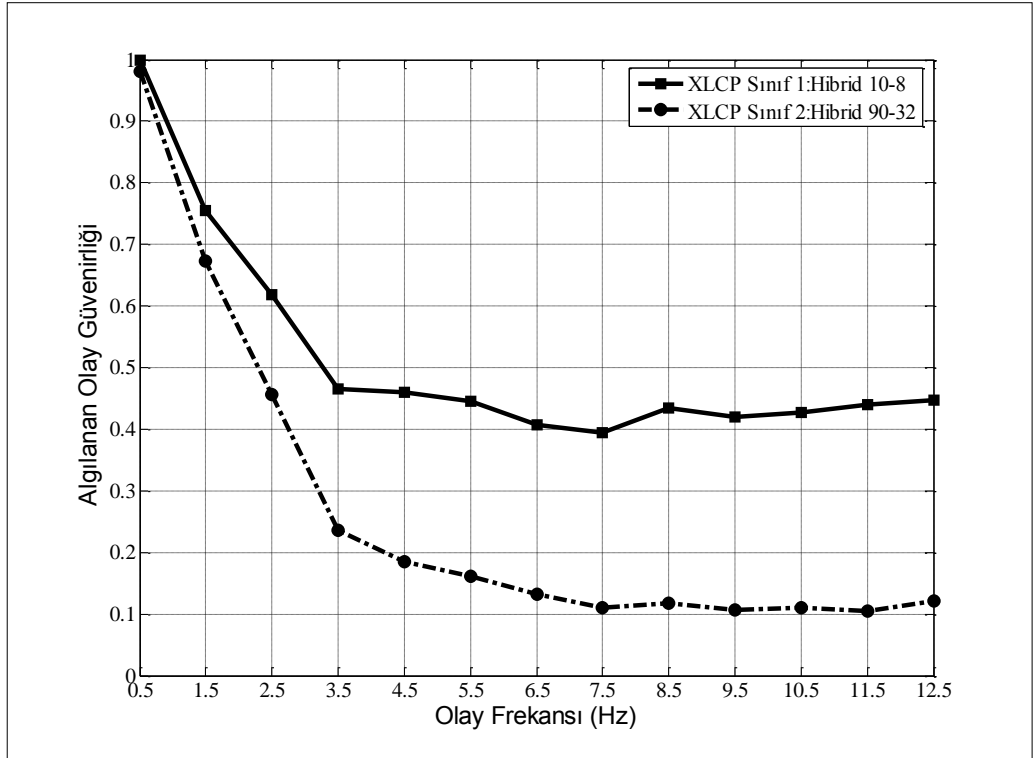


(b)

Şekil 5.4. Tampon Alanının ve Çekişme Zaman Diliminin Birlikte QoS Etkisi

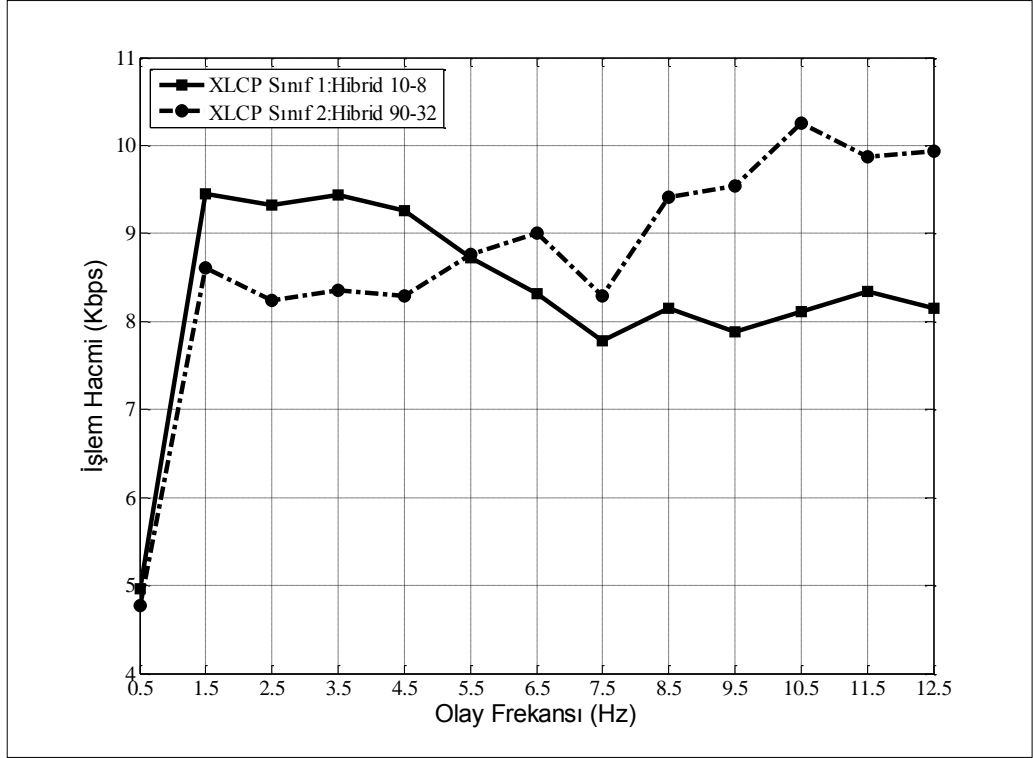


(c)

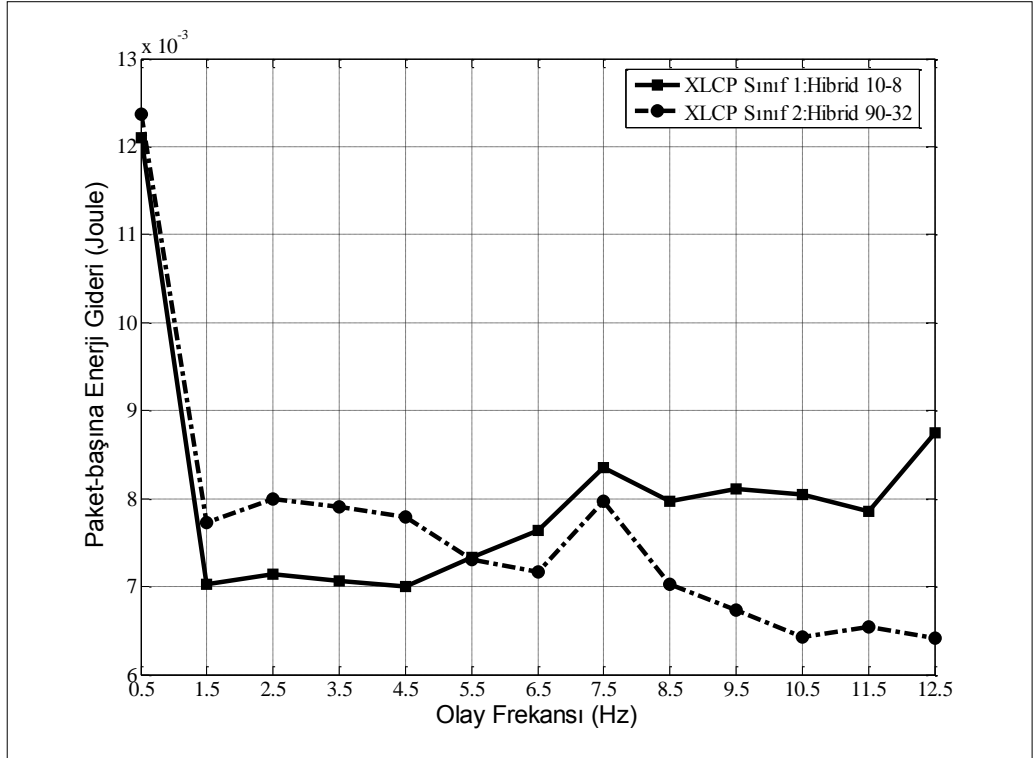


(d)

Şekil 5.4. (Devam) Tampon Alanının ve Çekişme Zaman Diliminin Birlikte QoS Etkisi



(e)

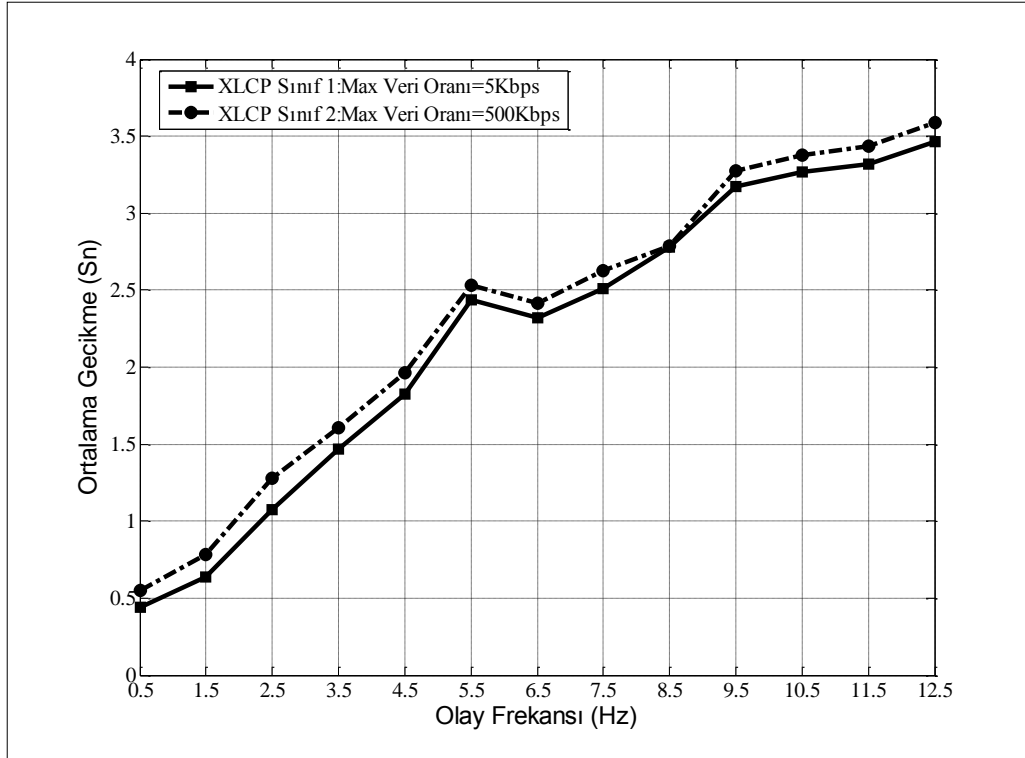


(f)

Şekil 5.4. (Devam) Tampon Alanının ve Çekişme Zaman Diliminin Birlikte QoS Etkisi

5.6. Maliyet Fonksiyonu İçindeki Maksimum Veri Oranı Eşik Değeri ile Performans Değerlendirmesi

Maliyet fonksiyonu içindeki maksimum veri oranı eşik değeri ($\beta_{\text{max-data-rate}}^0$) ile performans değerlendirme grafiği Şekil 5.5.'de verilmiştir. Maksimum veri oranı eşik değeri, maliyet fonksiyonu içerisinde yer alan ve o anki çıktı oranı ile karşılaştırılan parametredir. Sınıf-1 için $\beta_{\text{max-data-rate}}^1 = 5$ Kbps ve Sınıf-2 için $\beta_{\text{max-data-rate}}^2 = 500$ Kbps olarak belirlenmiştir. Maksimum veri oranı eşik değeri dışında diğer bütün parametreler aynı değerde tutulmuştur. Olay frekansı 1,0 Hz aralıklarla 0,5 Hz'den 12,5 Hz'e kadar arttırılmıştır. Maliyet fonksiyonu içerisindeki maksimum veri oranı eşik değeri yalnızca Ortalama Gecikme QoS metriğini farklılaştırabilmektedir (Şekil 5.5.a).

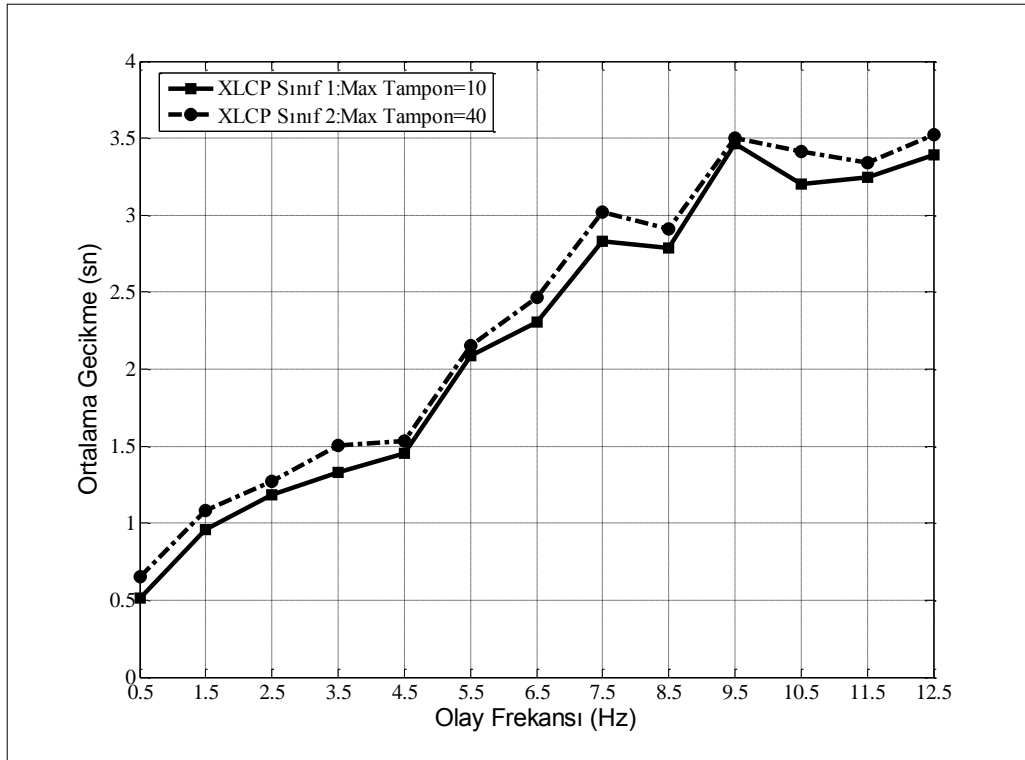


(a)

Şekil 5.5. Maliyet Fonksiyonu İçindeki Maksimum Veri Oranının QoS Etkisi

5.7. Maliyet Fonksiyonu İçindeki Maksimum Tampon Uzunluğu Eşik Değeri ile Performans Değerlendirmesi

Maliyet fonksiyonu içindeki maksimum tampon uzunluğu eşik değeri ($\beta_{\max\text{-buffer-len}}^Q$) ile performans değerlendirme grafiği Şekil 5.6.'da verilmiştir. Maksimum tampon uzunluğu eşik değeri, maliyet fonksiyonu içerisinde yer alan ve o anki tampon alan uzunluğu ile karşılaştırılan parametredir. Sınıf-1 için $\beta_{\max\text{-buffer-len}}^1 = 10$ paket ve Sınıf-2 için $\beta_{\max\text{-buffer-len}}^2 = 40$ paket olarak belirlenmiştir. Maksimum tampon uzunluğu eşik değeri dışında diğer bütün parametreler aynı değerde tutulmuştur. Olay frekansı 1,0 Hz aralıklarla 0,5 Hz'den 12,5 Hz'e kadar arttırılmıştır. Maliyet fonksiyonu içerisindeki maksimum tampon uzunluğu eşik değeri yalnızca Ortalama Gecikme QoS metriğini farklılaştırabilmektedir (Şekil 5.6.a).

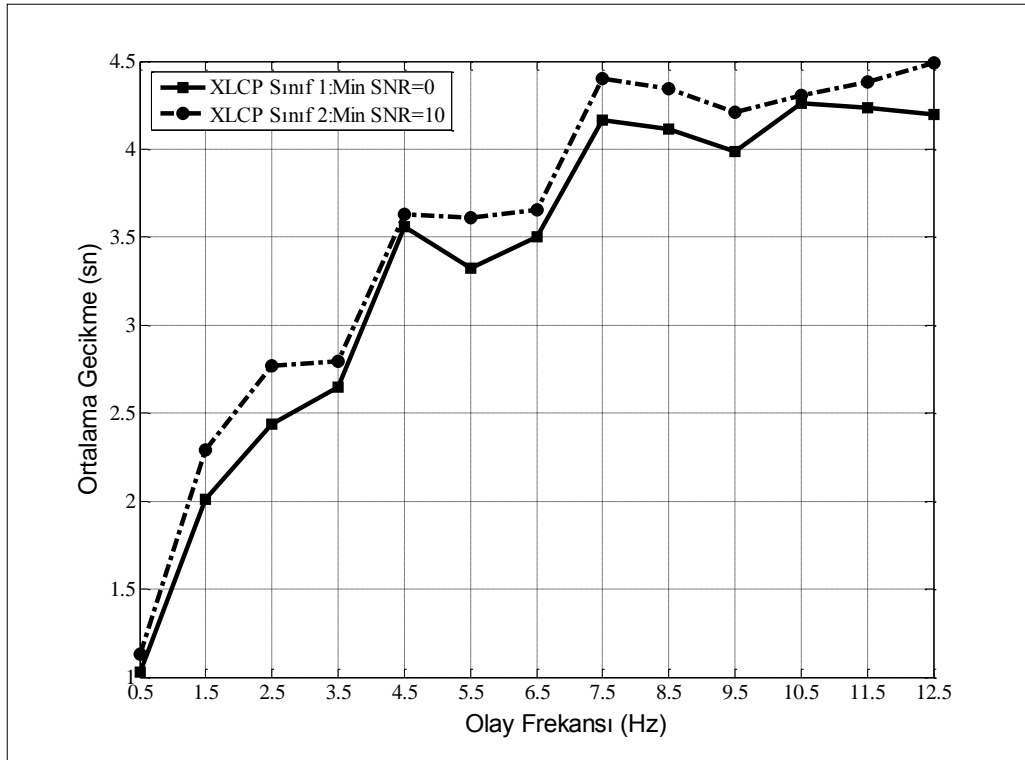


(a)

Şekil 5.6. Maliyet Fonksiyonu İçindeki Maksimum Tampon Uzunluğunun QoS Etkisi

5.8. Maliyet Fonksiyonu İçindeki Minimum SNR Eşik Değeri ile Performans Değerlendirmesi

Maliyet fonksiyonu içindeki minimum SNR eşik değeri ($\beta_{\min-snr-x}^Q$, $x=rtst, ctsq, data, ack$) ile performans değerlendirme grafiği Şekil 5.7.'de verilmiştir. Minimum SNR eşik değeri, maliyet fonksiyonu içerisinde yer alan ve o anki SNR değerleri ile karşılaştırılan parametredir. Sınıf-1 için $\beta_{\min-snr-x}^1 = 0$ dB ve Sınıf-2 için $\beta_{\min-snr-x}^2 = 10$ dB olarak alınmıştır. Fiziksel kanalda Friis Serbest Uzay yayılma modeli kullanılmıştır. SNR dışında diğer bütün parametreler aynı değerde tutulmuştur. Olay frekansı 1,0 Hz aralıklarla 0,5 Hz'den 12,5 Hz'e kadar arttırılmıştır. Maliyet fonksiyonu içerisindeki minimum SNR eşik değeri yalnızca Ortalama Gecikme QoS metriğini farklılaştırabilmektedir (Şekil 5.7.a).



(a)

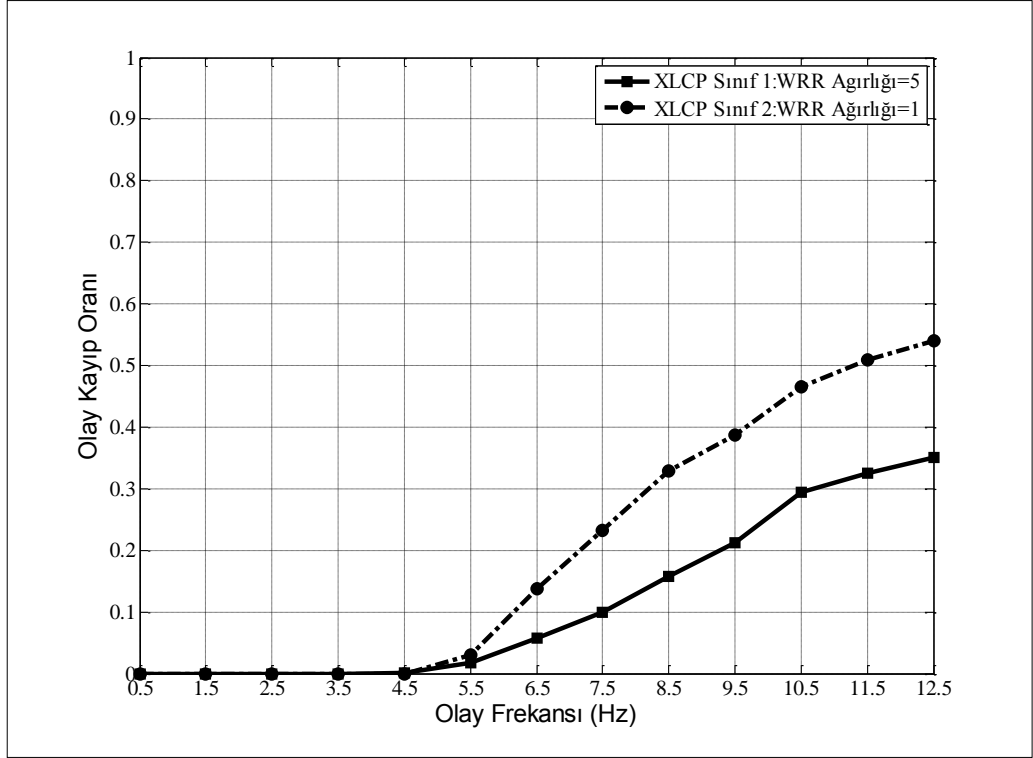
Şekil 5.7. Maliyet Fonksiyonu İçindeki Minimum SNR'ın QoS Etkisi

5.9. Ağırlıklı Dairesel Sıralı Planlayıcı ile Performans Değerlendirmesi

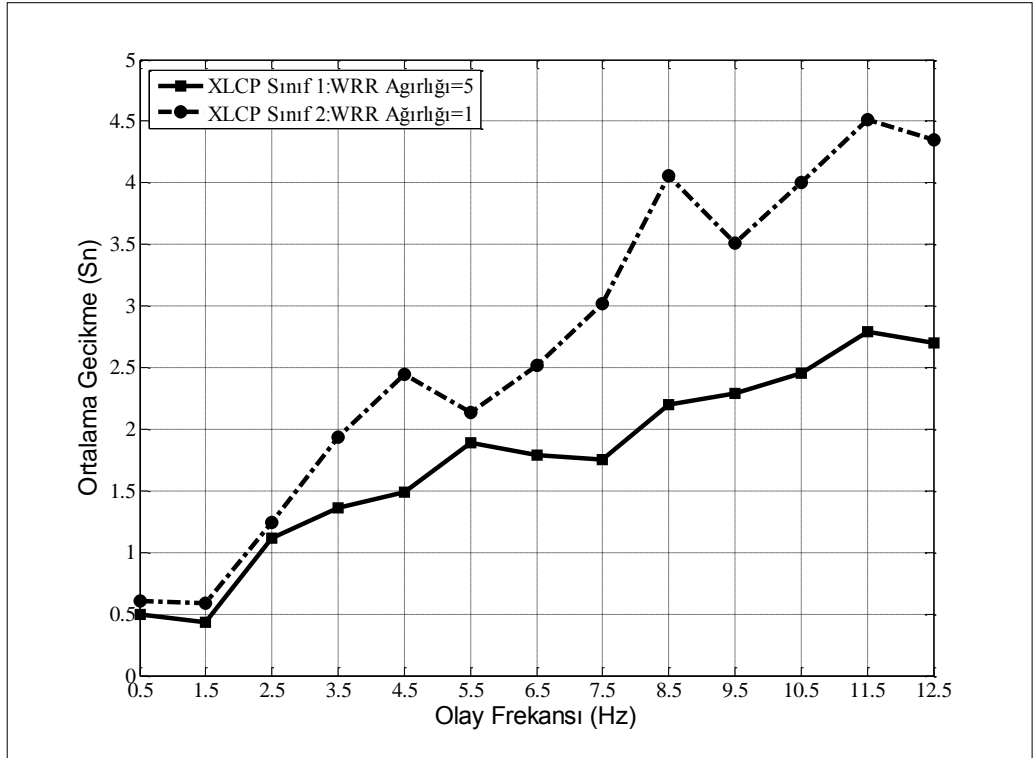
Ağırlıklı Dairesel Sıralı (ADS) planlayıcısı ile performans değerlendirmesinde, ADS planlayıcısının performansa etkisi analiz edilmiş ve grafikleri Şekil 5.8.'de verilmiştir. ADS planlayıcısı her bir sınıf için belirtilen ağırlıkta paket planlayarak iletmek üzere seçecek şekilde tasarlanmıştır . Sınıf-1 için ağırlık 5 paket ve Sınıf-2 için ağırlık 1 paket olarak belirlenmiştir. Yani Sınıf-1 için 5 paket ileildiğinde Sınıf-2 için 1 paket iletilecek şekilde uygulanmıştır. ADS planlayıcısının QoS üzerine etkisini gözlemleyebilmek amacıyla, ADS ağırlıkları dışında diğer bütün parametreler aynı değerde tutulmuştur. Olay frekansı 1,0 Hz aralıklarla 0,5 Hz'den 12,5 Hz'e kadar arttırılmıştır. Olay frekansına karşılık gelen Olay Kayıp Oranı Şekil 5.8.a'da, Ortalama Gecikme Şekil 5.8.b'de, Olay Güvenirliği Şekil 5.8.c'de, Algılanan Olay Güvenirliği Şekil 5.8.d'de, İşlem Hacmi Şekil 5.8.e'de ve Paket-başına Enerji Gideri Şekil 5.8.f'de sunulmuştur.

ADS planlayıcı bütün QoS metriklerini (Olay Kayıp Oranı, Ortalama Gecikme, Olay Güvenirliği, Algılanan Olay Güvenirliği, İşlem Hacmi ve Paket-başına Enerji Gideri) farklılaştırabilmektedir. Yine beklendiği gibi Paket-başına Enerji Gideri, İşlem Hacmi'nin tersine sonuç vermiştir.

Sınıf-1'in Olay Kayıp Oranı Sınıf-2'nin Olay Kayıp Oranı'ndan 4,5 Hz'den itibaren daha düşüktür. Sınıf-1'in Ortalama Gecikme'si Sınıf-2'nin Ortalama Gecikmesi'nden 2,5 Hz'den itibaren daha düşüktür Sınıf-1 için Ortalama Gecikme 2,7 s, Sınıf-2 için Ortalama Gecikme 4,4 s ile sınırlandırılmıştır. Sınıf-1'in Olay Güvenirliği Sınıf-2'nin Olay Güvenirliği'nden daha yüksektir. Aksine, Sınıf-1'in Algılanan Olay Güvenirliği Sınıf-2'nin Algılanan Olay Güvenirliği'nden daha yüksektir. Sınıf-1'in İşlem Hacmi 1,5 Hz'den itibaren Sınıf-2'nin İşlem Hacminden daha yüksektir. Sınıf-1'in Paket-başına Enerji Gideri 1,5 Hz'den itibaren Sınıf-2'nin Paket-başına Enerji Gideri'nden daha düşüktür. Bu sonuçlar ADS planlayıcısının bütün QoS metriklerini farklı iki sınıf için farklılaştırabildiğini göstermektedir.

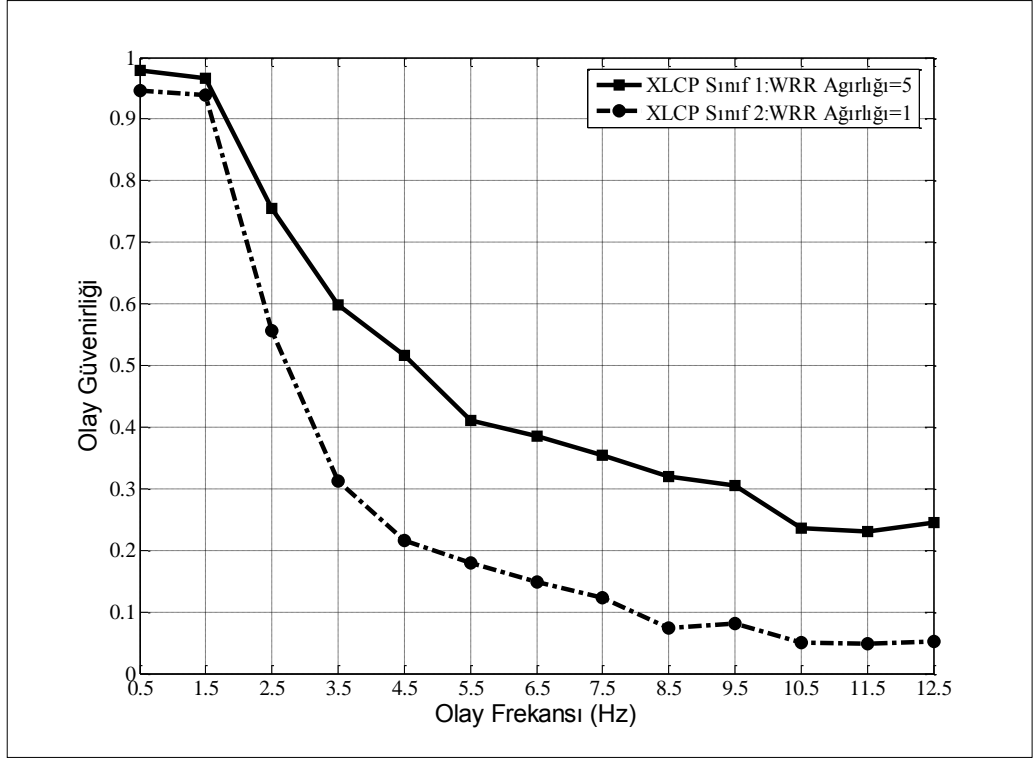


(a)

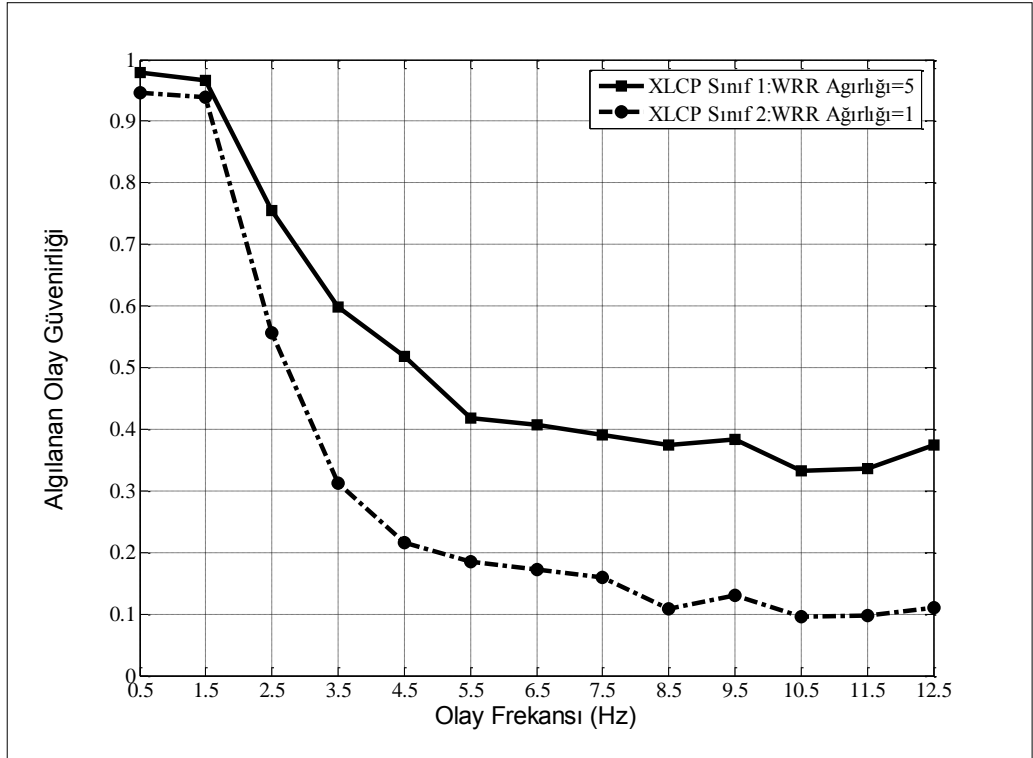


(b)

Şekil 5.8. Ağırlıklı Dairesel Planlayıcının QoS Etkisi

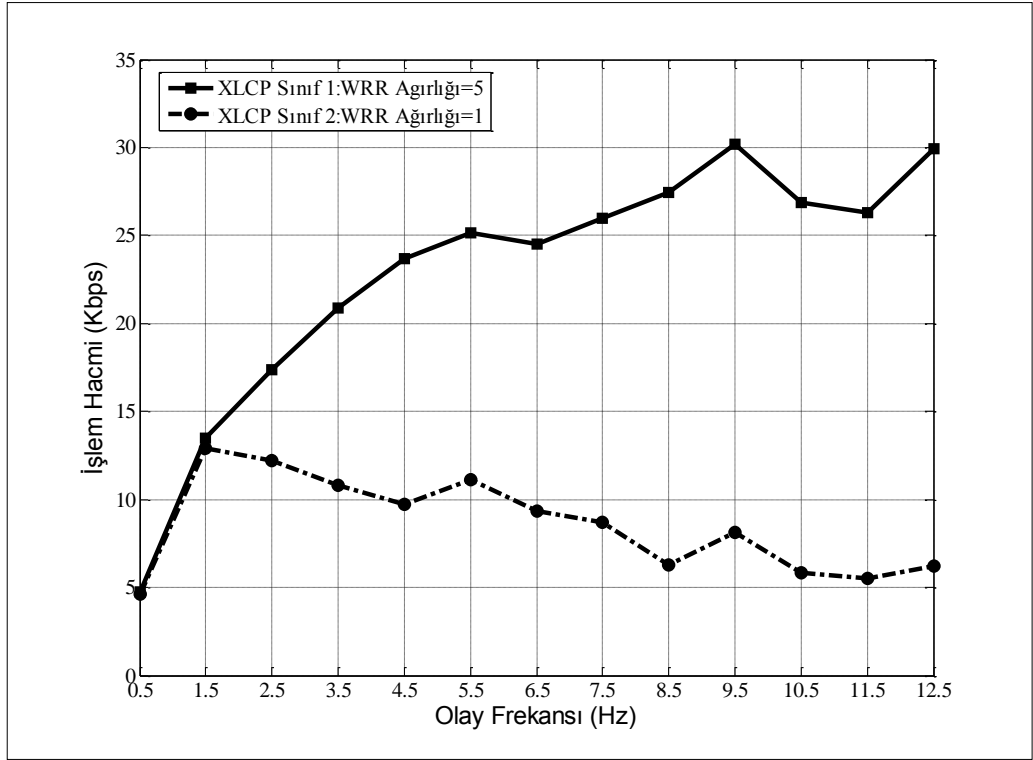


(c)

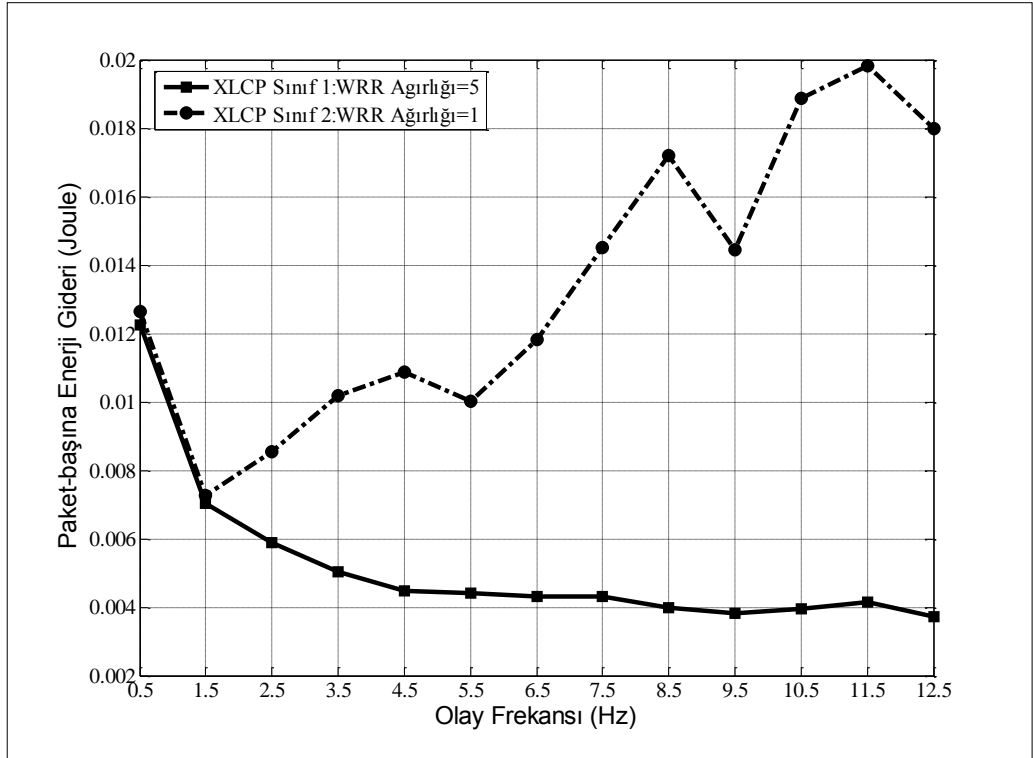


(d)

Şekil 5.8. (Devam) Ağırlıklı Dairesel Planlayıcının QoS Etkisi



(e)



(f)

Şekil 5.8. (Devam) Ağırlıklı Dairesel Planlayıcının QoS Etkisi

5.10. Farklı Fiziksel Katman Yayılma Modelleri ile Performans Değerlendirmesi

Farklı fiziksel katman yayılma modelleri ile performans değerlendirmesinde Friis serbest uzay, İki ışınlı yer ve Hata şehir yayılma modellerinin performansa etkisi analiz edilmiş ve grafikleri Şekil 5.9.'da verilmiştir. XLCP Sınıf-1 için $\beta_{\text{buflen}}^1 = 10$ paket ve Sınıf-2 için $\beta_{\text{buflen}}^2 = 90$ paket tampon alan ayrılmıştır. Tampon alan dışında diğer bütün parametreler aynı değerde tutulmuştur. Grafiklerde yalnızca Sınıf-1'in Friis, 2-Ray Ground ve Hata değerleri için verilmiştir. Sinyaller Çift-kutuplu Faz Kaydırmalı Anahtar (BPSK) modülasyonu ile Eklemeli Beyaz Gauss Gürültü (AWGN) kanalı üzerinden iletilmektedir. Bit Hata Oranı (BER) BPSK modülasyonu ile AWGN kanalı kullanılarak hesaplanmıştır, Olay frekansı 1,0 Hz aralıklarla 0.5 Hz'den 12,5 Hz'e kadar arttırılmıştır. Olay frekansına karşılık gelen Olay Kayıp Oranı, Ortalama Gecikme, Olay Güvenirliği, Algılanan Olay Güvenirliği, İşlem Hacmi ve Paket-başına Enerji Gideri grafikleri Friis, 2-Ray Ground ve Hata için sunulmuştur.

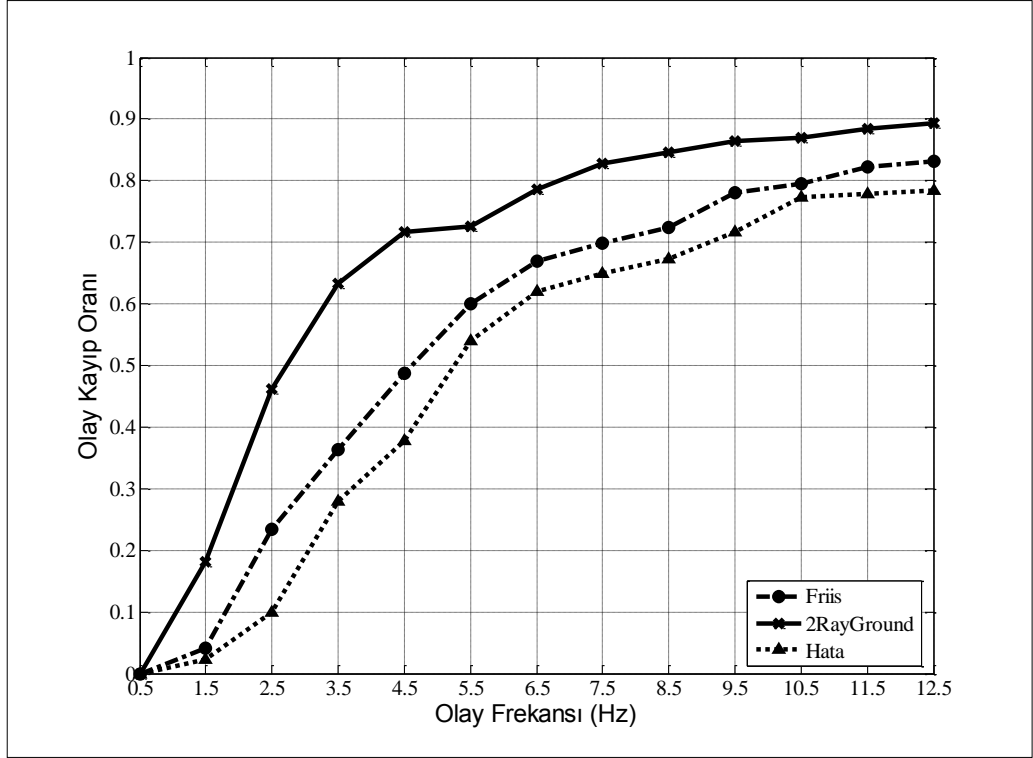
Şekil 5.9.a'da olay frekansına karşılık gelen Olay Kayıp Oranı grafiği sunulmuştur. Friis yayılma modeli için Olay Kayıp Oranı 1,5 Hz'den itibaren %4 ile artmaya başlamakta ve 12,5 Hz'de %83'e ulaşmaktadır. 2-Ray Ground yayılma modeli için Olay Kayıp Oranı 1,5 Hz'den itibaren %18 ile artmaya başlamakta ve 12,5 Hz'de %89'e ulaşmaktadır. Hata yayılma modeli için Olay Kayıp Oranı 1,5 Hz'den itibaren %2 ile artmaya başlamakta ve 12,5 Hz'de %78'e ulaşmaktadır. Grafikten açıkça anlaşıldığı gibi her 3 yayılma modeli için olay frekansı arttıkça Olay Kayıp Oranı da artmaktadır. Her 3 yayılma modeli, farklı frekanslarda, farklı Olay kayıp Oranı sunsa da, birbiriyle tutarlı Olay Kayıp Oranı sunmaktadır. En iyi sonucu Hata yayılma modeli ve en kötü sonucu 2-Ray Ground yayılma modeli vermiştir.

Şekil 5.9.b'de olay frekansına karşılık gelen Ortalama Gecikme grafiği sunulmuştur. Friis yayılma modeli için Ortalama Gecikme 0,5 Hz'de 0,61 s'den, 12,5 Hz'de 3,21 s'ye çıkmaktadır. 2-Ray Ground yayılma modeli için Ortalama Gecikme 0,5 Hz'de 1,73 s'den, 12,5 Hz'de 3,92 s'ye çıkmaktadır. Hata yayılma modeli için Ortalama Gecikme 0,5 Hz'de 0,43 s'den, 12,5 Hz'de 2,58 s'ye çıkmaktadır. Grafikten açıkça anlaşılacağı gibi her 3 yayılma modeli için olay frekansı arttıkça Ortalama Gecikme

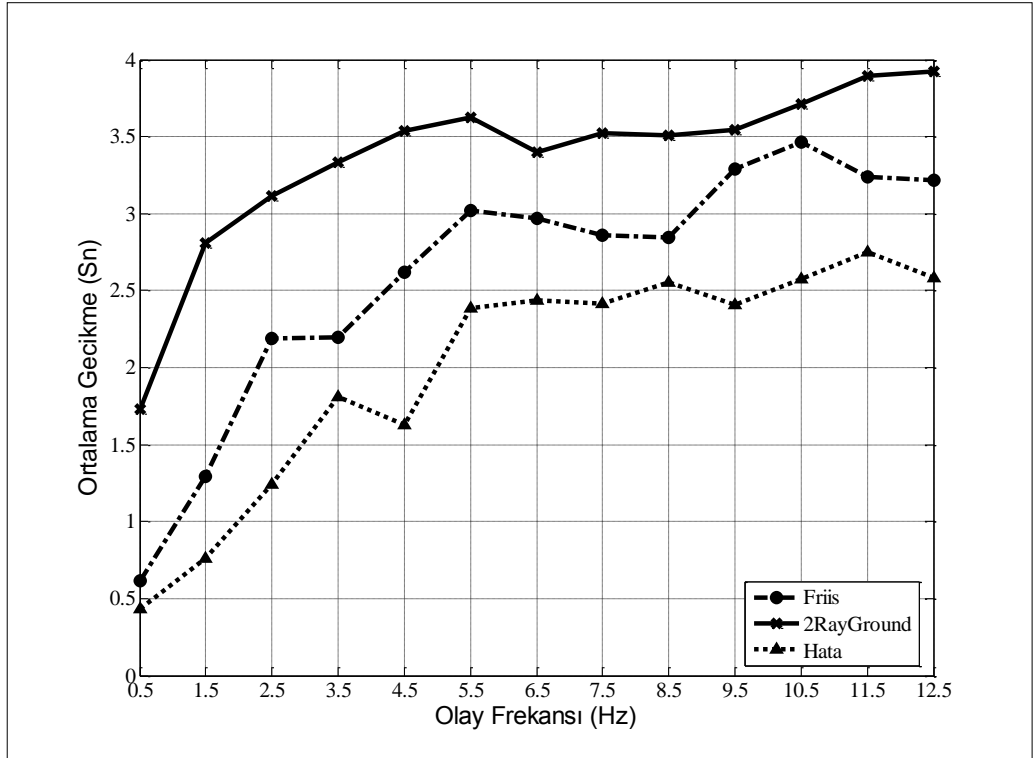
de artmaktadır. Her 3 yayılma modeli, farklı frekanslarda farklı Ortalama Gecikme sunsa da, birbiriyle tutarlı ortalama gecikme sunmaktadır. En iyi sonucu Hata yayılma modeli ve en kötü sonucu 2-Ray Ground yayılma modeli vermiştir.

Şekil 5.9.c'de olay frekansına karşılık gelen Olay Güvenirliği grafiği sunulmuştur. Friis yayılma modeli için Olay Güvenirliği 0,5 Hz'de %99'dan, 12,5 Hz'de %6'a düşmektedir. 2-Ray Ground yayılma modeli için Olay Güvenirliği 0,5 Hz'de %14'den, 12,5 Hz'de %1'e düşmektedir. Hata yayılma modeli için Olay Güvenirliği 0,5 Hz'de %99'dan, 12,5 Hz'de %11'e düşmektedir. Grafikten açıkça anlaşıldığı gibi her 3 yayılma modeli için olay frekansı arttıkça Olay Güvenirliği azalmaktadır. Friis ve Hata yayılma modelleri, farklı frekanslarda farklı Olay Güvenirliği sunsa da, birbirleriyle tutarlı Olay Güvenirliği sunmaktadır. En iyi sonucu Hata yayılma modeli ve en kötü sonucu 2-Ray Ground yayılma modeli vermiştir.

Şekil 5.9.d'de olay frekansına karşılık gelen Algılanan Olay Güvenirliği grafiği sunulmuştur. Friis yayılma modeli için Algılanan Olay Güvenirliği 0,5 Hz'de %99'dan, 12,5 Hz'de %40'a düşmektedir. 2-Ray Ground yayılma modeli için Algılanan Olay Güvenirliği 0,5 Hz'de %16'den, 12,5 Hz'de %10'a düşmektedir. Hata yayılma modeli için Algılanan Olay Güvenirliği 0,5 Hz'de %99'dan, 12,5 Hz'de %51'e düşmektedir. Grafikten açıkça anlaşıldığı gibi her 3 yayılma modeli için olay frekansı arttıkça Algılanan Olay Güvenirliği azalmaktadır. Friis ve Hata yayılma modelleri, farklı frekanslarda farklı Algılanan Olay Güvenirliği sunsa da, birbirleriyle tutarlı Algılanan Olay Güvenirliği sunmaktadır. 2-Ray Ground yayılma modeli diğerlerine göre tutarsızdır. En iyi sonucu Hata yayılma modeli ve en kötü sonucu 2-Ray Ground yayılma modeli vermiştir.

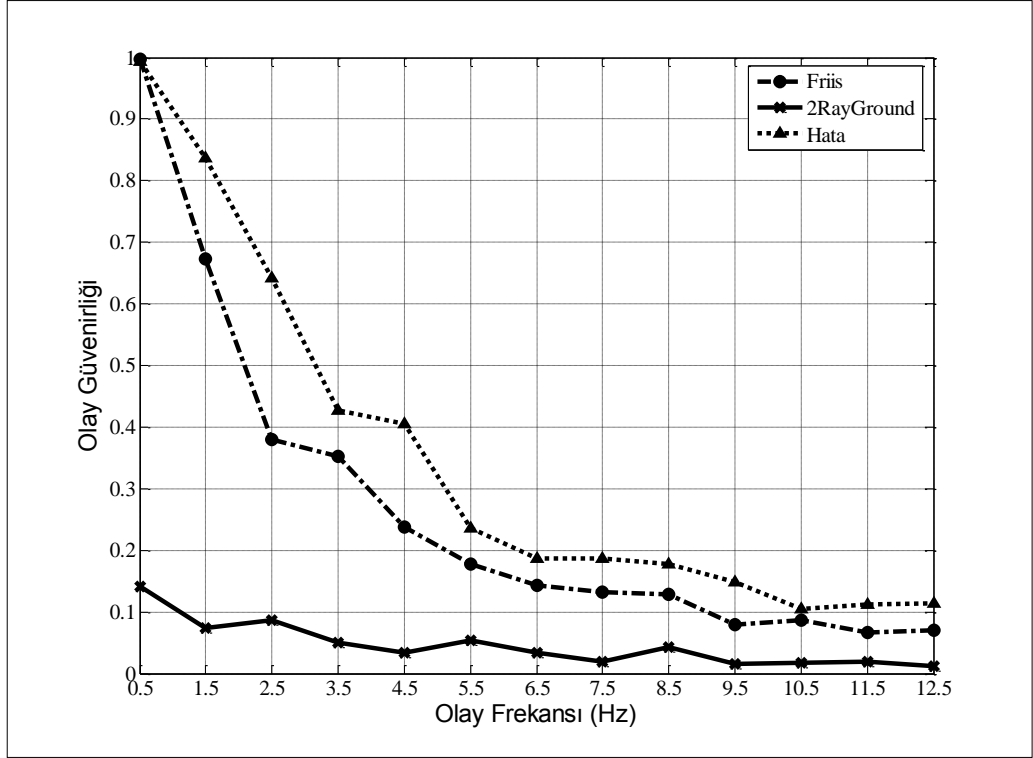


(a)

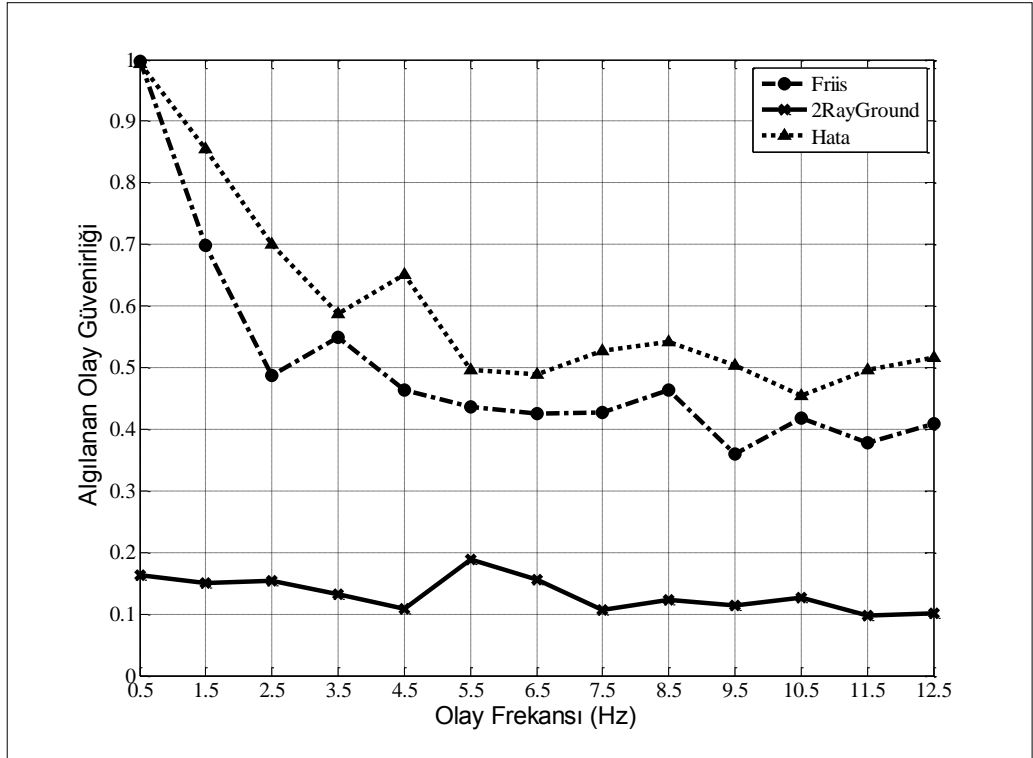


(b)

Şekil 5.9. Fiziksel Katman Yayılma Modelinin QoS Etkisi

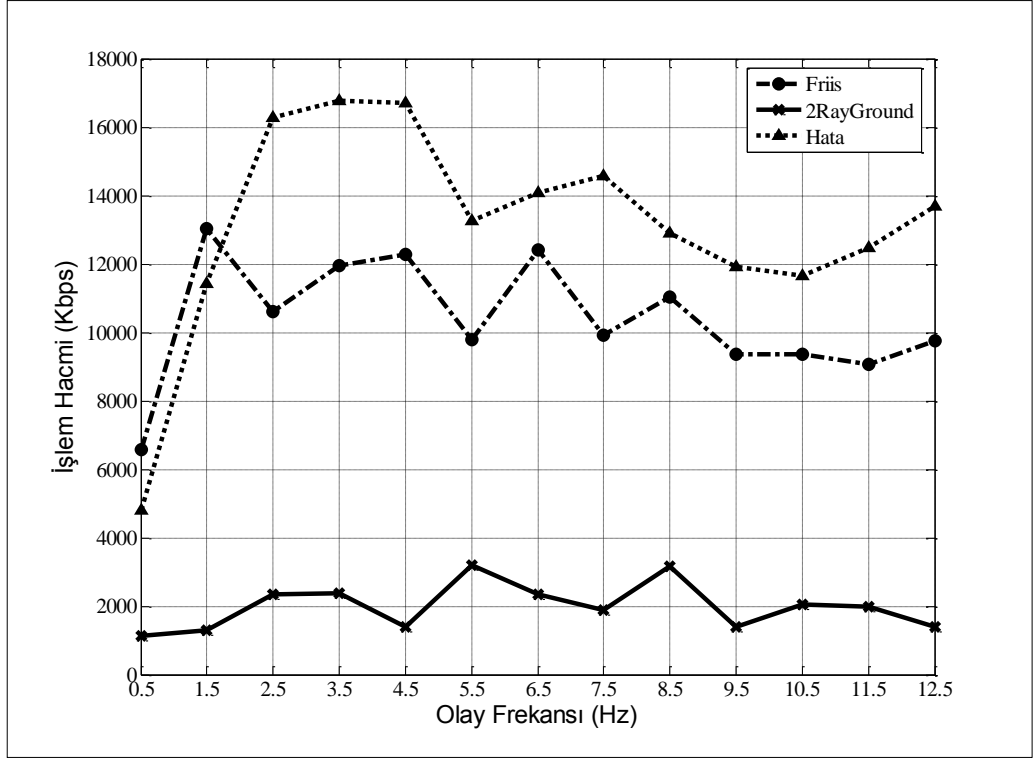


(c)

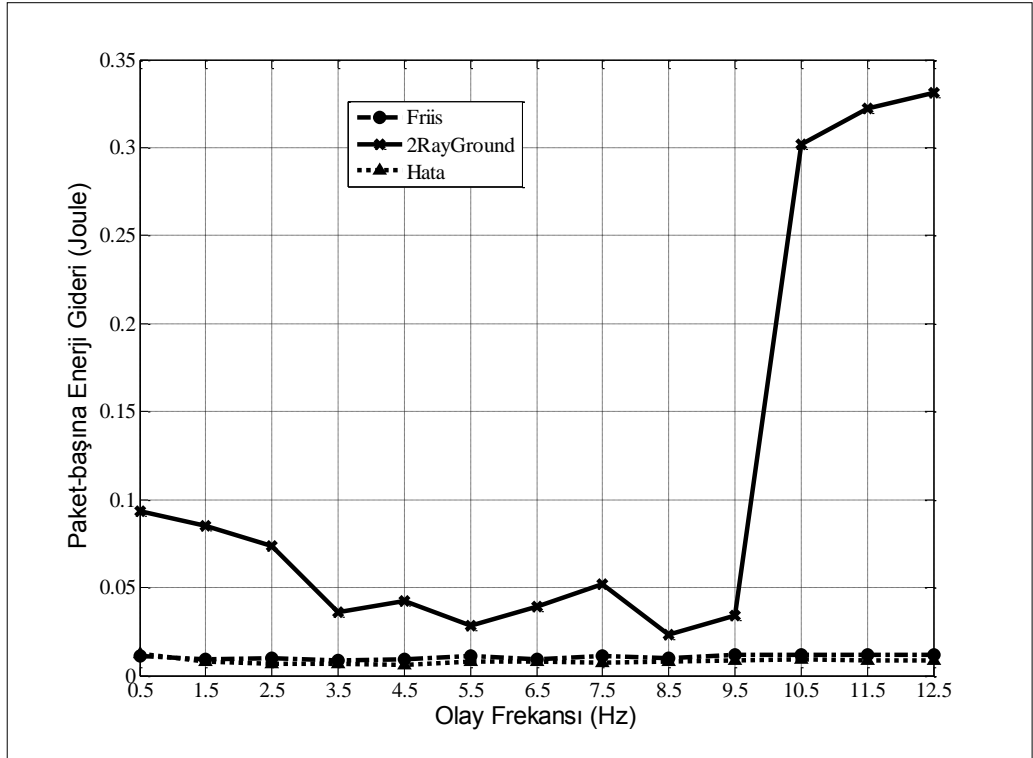


(d)

Şekil 5.9. (Devam) Fiziksel Katman Yayılma Modelinin QoS Etkisi



(e)



(f)

Şekil 5.9. (Devam) Fiziksel Katman Yayılma Modelinin QoS Etkisi

Şekil 5.9.e'de olay frekansına karşılık gelen İşlem Hacmi grafiği sunulmuştur. Friis yayılma modeli için İşlem Hacmi 0,5 Hz'de 6560 Kbps'den, 12,5 Hz'de 9760 Kbps'e çıkmaktadır. 2-Ray Ground yayılma modeli için İşlem Hacmi 0,5 Hz'de 1136 Kbps'den, 12,5 Hz'de 1408 Kbps'e çıkmaktadır. Hata yayılma modeli için İşlem Hacmi 0,5 Hz'de 4816 Kbps'den, 12,5 Hz'de 13680 Kbps'e çıkmaktadır. Friis ve Hata yayılma modelleri, farklı frekanslarda farklı İşlem Hacmi sunsa da, birbirleriyle tutarlı İşlem Hacmi sunmaktadır. 2-Ray Ground yayılma modeli diğerlerine göre tutarsızdır. 2-Ray Ground yayılma modeli dışında benzetimlerde İşlem Hacmi QoS'i için hangi yayılma modelinin kullanıldığı çok az etkilidir. En iyi sonucu Hata yayılma modeli ve en kötü sonucu 2-Ray Ground yayılma modeli vermiştir.

Şekil 5.9.f'de olay frekansına karşılık gelen Paket-başına Enerji Gideri grafiği sunulmuştur. Friis yayılma modeli için Paket-başına Enerji Gideri 0,5 Hz'de 0,01 Joule'den, 12,5 Hz'de 0,01 Joule'de kalmaktadır. 2-Ray Ground yayılma modeli için Paket-başına Enerji Gideri 0,5 Hz'de 0,09 Joule'den, 12,5 Hz'de 0,33 Joule'e çıkmaktadır. Hata yayılma modeli için Paket-başına Enerji Gideri 0,5 Hz'de 0,01 Joule'den, 12,5 Hz'de 0,008 Joule'de düşmektedir. Friis ve Hata yayılma modelleri, farklı frekanslarda farklı Paket-başına Enerji Gideri sunsa da, birbirleriyle tutarlı Paket-başına Enerji Gideri sunmaktadır. 2-Ray Ground yayılma modeli diğerlerine göre tutarsızdır. 2-Ray Ground yayılma modeli dışında benzetimlerde Paket-başına Enerji Gideri QoS'i için hangi yayılma modelinin kullanıldığı biraz etkilidir. Bununla birlikte Paket-başına Enerji Gideri, İşlem Hacmi ile ters orantılıdır.

6. XLCP'NİN KARŞILAŞTIRMALI PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde XLCP protokolünün performansını GEO-FLOOD ve MMSPEED protokolleri ile karşılaştırılmıştır. Bu protokollerin seçilmesinin nedeni XLCP ile benzer amaçlı olmalarıdır. Bir çok benzetimin çalıştırılması sonucunda nicel karşılaştırma sonuçları grafiklerle ifade edilmiştir.

- GEO-FLOOD: Bu protokol performans değerlendirmesinde taban olarak kullanılmıştır. Her bir düğüm paketleri tamama-gönderim ile bütün komşu düğümlere iletir. Yalnızca hedefe yakın olan düğümler aldıkları paketi tekrar tamama-gönderim ile komşu düğümlere iletirler. Tamama-gönderim ile hedefe yaklaşan paketler doğal olarak hedefe ulaşırlar. MAC katmanında, CSMA'a benzer tamama-gönderim kullanılmıştır.
- MMSPEED: Multi-path Multi-Speed [177, 178] protokolü benzetim ortamında gerçekleştirildi. MAC katmanında 802.11e çerçeveler arası boşluk tekniğiyle önceliklendirme gerçekleştirilmiştir. Komşulara güvenilir çoklu-gönderim, komşulara ortalama gecikme süresi ve kayıp oranı hesabı protokolü desteklemek amacıyla uygulandı. DATA paketinin bütün çoklu-gönderim grubuna iletilmesi ve çoklu-gönderim grubuna ait yalnızca bir düğümün CTS ve ACK paketini göndermesi sağlandı. Hız ve ulaşım olasılık kontrolü için vaktindelik ve güvenilirlik geri-baskı mekanizmaları gerçekleştirilmemiştir.
- XLCP: XLCP detaylı olarak tezin 4. bölümünde anlatılmıştır.

6.1. Benzetim Ortamı

Benzetim ortamı parametreleri 5.1. bölümde verilenler ile aynıdır. MMSPEED ve XLCP için 2 sınıf tanımlanmıştır. MMSPEED Sınıf-1 için ulaşma olasılığı 0,5 ve uçtan-uca zaman-sınırı 2 s, MMSPEED Sınıf-2 için ulaşma olasılığı 0,5 ve uçtan-uca zaman-sınırı 4 s olarak belirlenmiştir.

MMSPEED Sınıf-1 için hız seviyesi 100 m/s ve Sınıf-2 için 25 m/s olarak belirlenmiştir. XLCP Sınıf-1 için $\beta_{\text{buflen}}^1 = 10$ paket ve $T_{x\text{-time}}^1 = 8 \mu\text{s}$ ve Sınıf-2 için $\beta_{\text{buflen}}^2 = 90$ paket ve $T_{x\text{-time}}^2 = 32 \mu\text{s}$ (x=rtss, ctsq, data, ack) olarak belirlenmiştir.

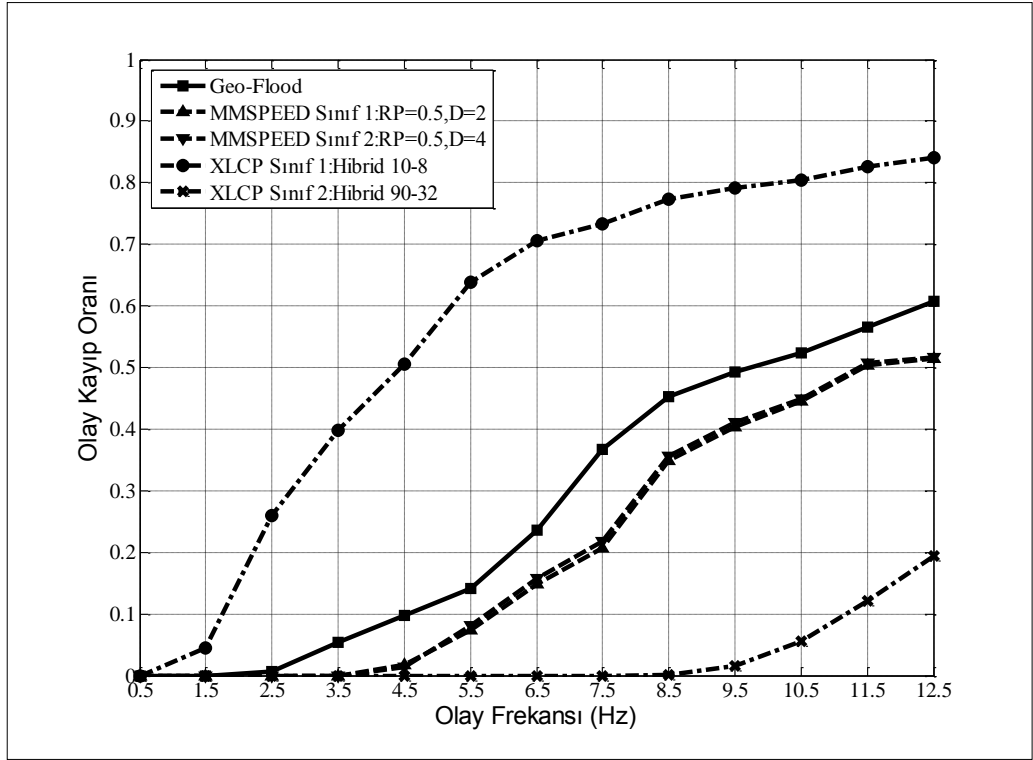
6.2. QoS Performans Metrikleri

MMSPEED, GEO-FLOOD ve XLCP'nin karşılaştırmalı performans değerlendirmesinde 5.2. bölümde verilen performans metrikleri kullanılmıştır.

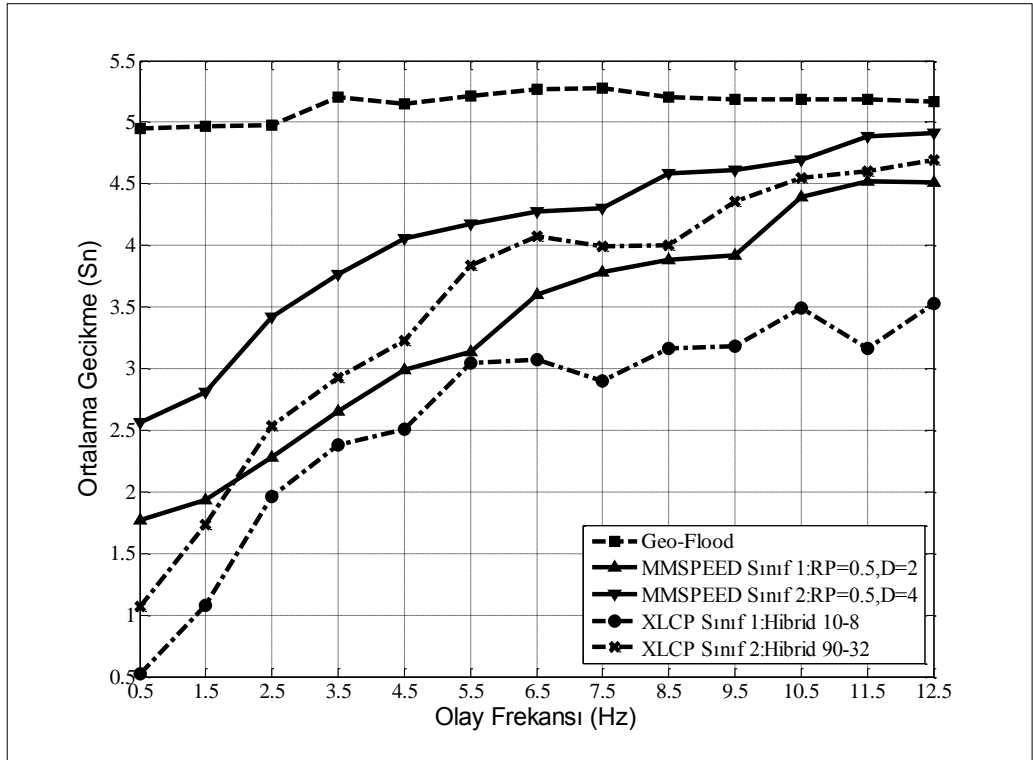
6.3. XLCP'nin MMSPEED ve GEO-FLOOD ile Karşılaştırmalı Performans Değerlendirmesi

Şekil 6.1.a'da olay frekansına karşılık gelen Olay Kayıp Oranı grafiği sunulmuştur. GEO-FLOOD için Olay Kayıp Oranı 2,5 Hz'den itibaren artmaya başlamakta ve 12,5 Hz'de %60'a ulaşmaktadır. MMSPEED Sınıf-1 ve MMSPEED Sınıf-2 için Olay Kayıp Oranı 4,5 Hz'den itibaren artmaya başlamakta ve 12,5 Hz için %51'e ulaşmaktadır. XLCP Sınıf-1 için Olay Kayıp Oranı 1,5 Hz'den itibaren artmaya başlamakta ve 12,5 Hz'de %84'e çıkmaktadır. XLCP Sınıf-2 için Olay Kayıp Oranı 7,5 Hz'den itibaren artmaya başlamakta ve 12,5 Hz'de %19'a ulaşmaktadır. Olay Kayıp Oranı'nda sınıflar için ayrılan tampon alan uzunluğu ve taşkınlık etkili olmaktadır.

Şekil 6.1.b'de olay frekansına karşılık gelen ortalama gecikme grafiği sunulmuştur. GEO-FLOOD için ortalama gecikme 0,5 Hz'de 4,95 s'den, 12,5 Hz'de 5,16 s'ye çıkmaktadır. MMSPEED Sınıf-1 için ortalama gecikme 0,5 Hz'de 1,76 s'den, 12,5 Hz'de 4,5 s'ye çıkmaktadır. MMSPEED Sınıf-2 için ortalama gecikme 0,5 Hz'de 2,56 s'den, 12,5 Hz'de 4,91 s'ye çıkmaktadır. XLCP Sınıf-1 için ortalama gecikme 0,5 Hz'de 0,52 s'den, 12,5 Hz'de 3,53 s'ye çıkmaktadır. XLCP Sınıf-2 için ortalama gecikme 0,5 Hz'de 1,06 s'den, 12,5 Hz'de 4,68 s'ye çıkmaktadır. Tampon alan uzunluğu ve çekişme zaman dilimi uzunluğu gecikmeyi doğru orantılı olarak etkilemektedir. Bununla birlikte GEO-FLOOD'da ve MMSPEED'de olduğu gibi ağda taşkınlık yaratmak ağı tıkamakta ve paket gecikmelerine neden olmaktadır.

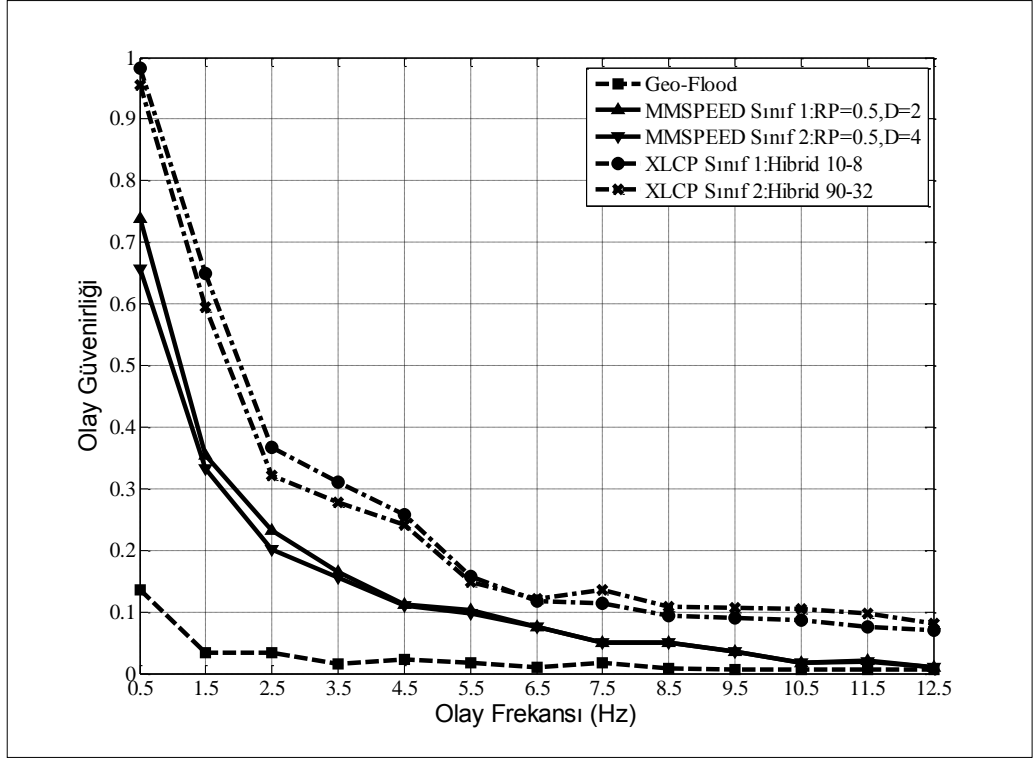


(a)

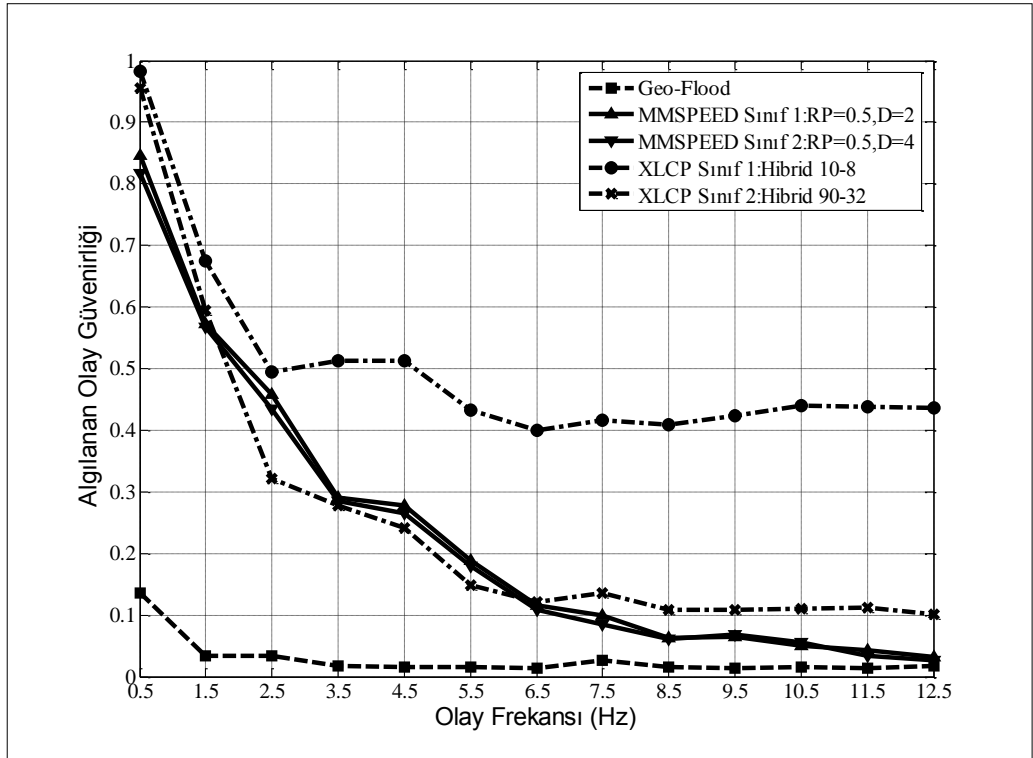


(b)

Şekil 6.1. XLCP, MMSPEED ve GEO-FLOOD Karşılaştırması

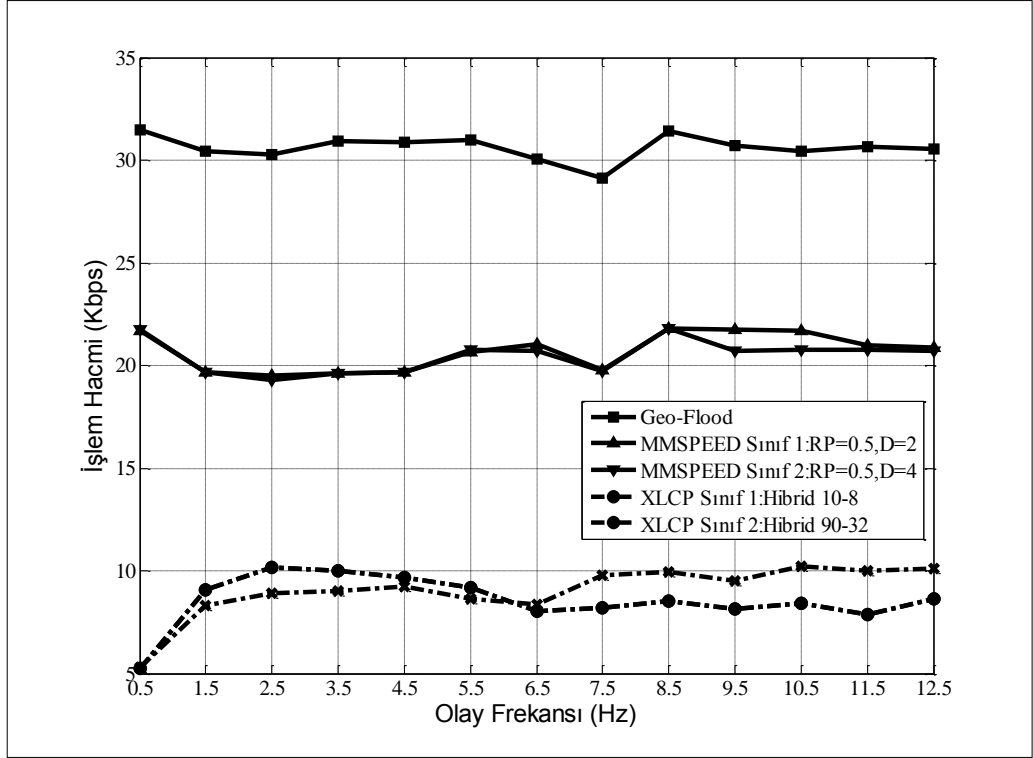


(c)

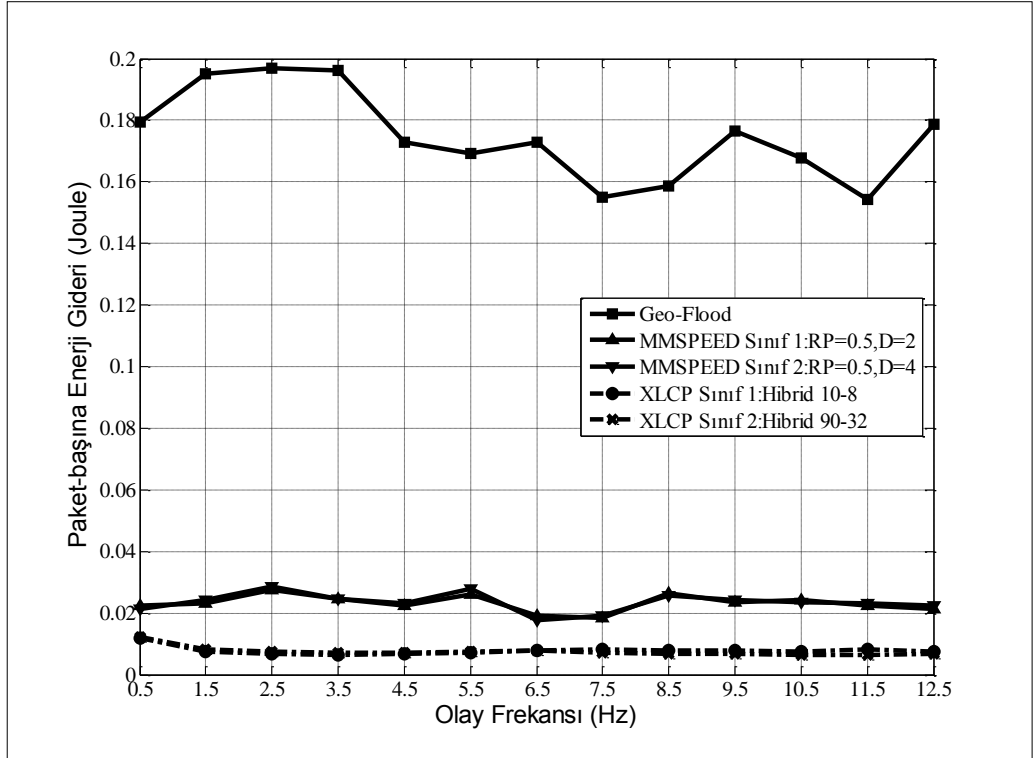


(d)

Şekil 6.1. (Devam) XLCP, MMSPEED ve GEO-FLOOD Karşılaştırması



(e)



(f)

Şekil 6.1. (Devam) XLCP, MMSPEED ve GEO-FLOOD Karşılaştırması

Şekil 6.1.c'de olay frekansına karşılık gelen Olay Güvenirliği grafiği sunulmuştur. GEO-FLOOD için Olay Güvenirliği 0,5 Hz'den %13'den, 12,5 Hz'de %0,6'ya düşmektedir. MMSPEED Sınıf-1 için Olay Güvenirliği 0,5 Hz'den %73'den, 12,5 Hz için %0,9'a düşmektedir. MMSPEED Sınıf-2 için Olay Güvenirliği 0,5 Hz'den %65'den, 12,5 Hz için %0,9'a düşmektedir. XLCP Sınıf-1 için Olay Güvenirliği 0,5 Hz'den %98'den, 12,5 Hz için %6'ya düşmektedir. XLCP Sınıf-2 için Olay Güvenirliği 0,5 Hz'den %95'den, 12,5 Hz için %8'e düşmektedir. Tampon alan uzunluğu GEO-FLOOD'da ve MMSPEED'de olduğu gibi ağda taşkınlık yaratarak paket kayıplarına neden olmakta ve Olay Güvenirliği'ni düşürmektedir.

Şekil 6.1.d'de olay frekansına karşılık gelen Algılanan Olay Güvenirliği grafiği sunulmuştur. GEO-FLOOD için Algılanan Olay Güvenirliği 0,5 Hz'den %13'den, 12,5 Hz'de %1'e düşmektedir. MMSPEED Sınıf-1 için Algılanan Olay Güvenirliği 0,5 Hz'den %84'den, 12,5 Hz için %3'e düşmektedir. MMSPEED Sınıf-2 için Algılanan Olay Güvenirliği 0,5 Hz'den %81'den, 12,5 Hz için %2'ye düşmektedir. XLCP Sınıf-1 için Algılanan Olay Güvenirliği 0,5 Hz'den %98'den, 12,5 Hz için %43'e düşmektedir. XLCP Sınıf-2 için Algılanan Olay Güvenirliği 0,5 Hz'den %95'den, 12,5 Hz için %10'e düşmektedir. Tampon alan uzunluğu GEO-FLOOD'da ve MMSPEED'de olduğu gibi ağda taşkınlık yaratarak paket kayıplarına neden olmakta ve Algılanan Olay Güvenirliği'ni düşürmektedir.

Şekil 6.1.e'de olay frekansına karşılık gelen İşlem Hacmi grafiği sunulmuştur. GEO-FLOOD için İşlem Hacmi 0,5 Hz ve 12,5 Hz arasında yaklaşık olarak ortalama İşlem Hacmi 30 Kbps'dir. MMSPEED Sınıf-1 ve MMSPEED Sınıf-2 için 0,5 Hz ve 12,5 Hz arasında yaklaşık olarak ortalama İşlem Hacmi 20 Kbps'dir. XLCP Sınıf-1 ve XLCP Sınıf-2 için İşlem Hacmi 0,5 Hz'de 5,26 Kbps'den, 2,5 Hz'de 10 Kbps'e çıkmaktadır. XLCP Sınıf-1 ve Sınıf-2 için 2,5 Hz ve 12,5 Hz arasında yaklaşık olarak İşlem Hacmi 10 Kbps'in biraz altındadır. GEO-FLOOD'da ve MMSPEED'de olduğu gibi ağda taşkınlık yaratmak İşlem Hacmini belirli bir oranda arttırmaktadır.

Şekil 6.1.f'de olay frekansına karşılık gelen Paket-başına Enerji Gideri grafiği sunulmuştur. GEO-FLOOD için Paket-başına Enerji Gideri 0,5 Hz ve 12,5 Hz arasında yaklaşık olarak 0,16 ve 0,20 Joule arasında seyretmektedir. MMSPEED Sınıf-1 ve MMSPEED Sınıf-2 için Paket-başına Enerji Gideri 0,5 Hz ve 12,5 Hz

arasında yaklaşık olarak 0,02 Joule'de seyretmektedir. XCLP Sınıf-1 ve XLCP Sınıf-2 için Paket-başına Enerji Gideri 0,5 Hz ve 12,5 Hz arasında yaklaşık olarak 0,007 Joule'de seyretmektedir. Paket-başına Enerji Gideri, İşlem Hacmi ile ters orantılıdır.

7. XLCP İLE GÜVENİLİR GÖRÜNTÜ İLETİMİ

Kamera ile donatılmış KÇAA düğümleri buldukları çevreden görüntü alabilir ve bunları kablosuz haberleşme modülleri aracılığı ile iletebilirler. Bu algılayıcı düğümleri birçok çoklu-ortam uygulamalarının hayata geçirilmesini sağlayabilirler [87]. Bu nedenle KÇAA'nda görüntü iletimi araştırma ve geliştirmede önem kazanmıştır. Buldukları ortamdaki görüntü alabilen kamera algılayıcı düğümleri geleneksel algılayıcı düğümlerinden daha fazla kaynak gereksinimine ihtiyaç duyarlar [80]. Kamera ünitesi ve algılayıcı parçası olmak üzere kamera düğümleri iki bütünleşmiş bileşenden oluşur [63]. Kamera ünitesi tarafından çekilen görüntüler dijital hale getirildikten sonra seri olarak algılayıcı parçasına aktarılırlar. Bu akıntı verileri bant genişliğini arttırmak amacıyla işlenerek ağ paketleri haline getirilirler. Bu paketler radyo ara yüzünde iletmek üzere tampon alana yerleştirilirler.

Görüntü verisi geleneksel sıkı sıkı verilerden çok daha fazla hacme sahiptir. Örneğin 256×256 'lık bir görüntü TelosB [64] gibi ticari çoklu-ortam algılayıcı düğümlerinin belleğine sığmamaktadır. Dahası bir görüntü kablosuz kanaldan iletilirken kanal bozulmalarından dolayı kayıp ve hatalara maruz kalır. Bununla birlikte bildiğimiz gibi çoklu-ortam verileri ağdan QoS gereksinimi duyarlar. Kısıtlı kaynaklar, haberleşme kanalının dinamik doğası ve çoklu-ortam QoS gereksinimleri KÇAA uygulamaları için zorluklara sebep olurlar.

Bu bölümde XLCP [195] ile güvenilir görüntü iletimi üzerine çalışılmıştır. Düşük enerji ile çalışan kamera ünitesi ile donatılmış nesne izleme uygulaması ele alınmıştır. Bir olay oluştuğunda hareket tespit algılayıcıları kamera ünitesini tetikler. Kamera ünitesi görüntü çeker ve seri port üzerinden algılayıcı düğüme aktarır. Yüksek kaliteli görüntü yüksek bant genişliği ve bellek alanı gerektirdiğinden görüntü önceliklendirilmek üzere makro-bloklara parçalanır. Irgan, Unsalan ve Baydere daha önceki çalışmalarında kaynak kısıtlı çoklu-ortam

düğümüleri için çeşitli tekniklerle görüntülerin dinamik olarak önceliklendirmesi üzerine çalışmışlardır [196]. Dolayısı ile bu çalışmadaki önceliklendirmede Irgan, Unsalan ve Baydere'nin önerdiği ve çalışmalarında en iyi sonucu veren Tekrarlanabilirlik (Repro) önceliklendirme yöntemi kullanılmıştır. Kaynak düğüm makro-blokları içerdikleri bilgi doğrultusunda Tekrarlanabilirlik yöntemine göre yüksek veya düşük servis sınıflarına göre etiketler. Etiketlenmiş makro-bloklar birden fazla QoS sınıfını destekleyen haberleşme modülüne geçirilir. Son olarak ağ haberleşme modülü XLCP protokolünü kullanarak çok sekmeli ağ üzerinden bu makro-blokları etiketlerindeki öncelik sınıfına göre hedefe doğru iletir. Makro-blokların servis farklılaştırması XLCP'de yer alan ağ tampon alan uzunluğu ve ağ katmanı tekrar-iletim sayısına göre gerçekleştirilir. Nesne izleme uygulamasının niceliksel ve niteliksel performans değerlendirmesi için geniş çaplı benzetimler çalıştırılmıştır. Niceliksel performans analizi için Makro-blok Güvenirliği ve Nesne İletim Oranı (OTR) metrikleri kullanılmıştır. Niteliksel performans analizi için hedefte alınan görüntüler verilmiştir. Detaylar aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

Nesne takip uygulamasında 256×256 piksel gri tonlarda görüntü kamera algılayıcısı tarafından çekilir. Daha sonra görüntü makro-blokların $X_{i,j}$ olarak gösterilen 8×8 pikselden oluşan makro-bloklara ayrılır. Bir görüntü toplam 1024 makro-bloktan oluşmaktır. Bir görüntü Denklem (7.1)'de verilen şekilde ifade edilir;

$$\text{Image} = \bigcup_{i,j} X_{i,j} \quad (7.1)$$

Makro-bloklar seri olarak nesne izleme uygulamasına kodlanmak üzere aktarılırlar. Daha sonra her makro-bloktaki bilgi doğrultusunda p makro bloğu için Tekrarlanabilirlik ölçüsü (R_p) uygulanır. Tekrarlanabilirlik ölçüsüne göre, eğer bir makro-blok komşu makro bloklar aracılığı ile kolaylıkla elde edilebiliyorsa bu makro-bloğun kaybı kolaylıkla telafi edilebilir. Bir p makro-bloğunun R_p değeri Denklem (7.2)'de verilen şekilde hesaplanır. $\mu(p)$, p makro-bloğun ortalamasıdır;

$$R_p = \sum_{n=1}^8 |\mu(p) - \mu(p_n)| \quad (7.2)$$

Denklemden $n = 1, \dots, 8$ için p_n , p makro-bloğun komşularını ifade eder. Daha sonrasında her bir $C_{i,j}$ makro-bloğunun öncelik değeri Denklem (7.3)'de verilen şekilde belirlenir;

$$C_{i,j} = \begin{cases} \text{High,} & R_p > R_p^{\text{threshold}} \\ \text{Low,} & R_p \leq R_p^{\text{threshold}} \end{cases} \quad (7.3)$$

Tekrarlanabilirlik eşik değeri ($R_p^{\text{threshold}}$) uygulama tarafından seçilir. Daha sonrasında önceliklendirilmiş makro-bloklar XLCP ile önceliklerine göre çok sekmeli KÇAA üzerinden hedefe iletir. XLCP'nin detayları önceki bölümlerde anlatılmıştır.

7.1. İlgili Çalışmalar

Sıkıştırma görüntü verisini azalttığı için üzerinde çalışılan bir tekniktir. Bu nedenle KÇAA için görüntü sıkıştırma üzerine bazı çalışmalar bulunmaktadır. Ancak sıkıştırma tekniği, görüntülerin tekrar elde edilememesi özelliğinden ötürü henüz fazla çalışılmamış bir alandır. JPEG 2000 gibi bütün resmi bellekte tutmayı gerektiren yöntemler bellek kısıtlı algılayıcı düğümleri üzerinde gerçekleştirilemezler. Lee ve çalışma arkadaşları hesap maliyeti, enerji harcama, hız ve görüntü kalitesi açısından JPEG sıkıştırma üzerine farklı donanımlarda çalıştılar [199]. Kaddachi ve çalışma arkadaşları işleme zamanı ve enerji bakımından önemli kazanımlar sağlayan görüntü sıkıştırma yöntemini özel bir donanım üzerinde çalıştılar [200]. Bu tekniklerin bellekleri çok kısıtlı KÇAA düğümleri üzerinde kullanılması pek mümkün değildir.

Dağıtık Kaynak Kodlama (DSC) KAA düğümleri üzerinde hesapsal yükü azaltır [201]. Dağıtık Kaynak kodlama literatürde geçmişte kablosuz ağlar için de yaygın olarak çalışılmıştır [202-205]. Bu çalışmaların hepsinin başlangıç noktası Slepian-Wolf [206] veya Wyner-Ziv [207] kaynak kodlama çalışmalarıdır. Dağıtık Kaynak Kodlama'da görüntüler arasındaki uzaysal ve zamansal bilgi gereklidir. Ancak durağan görüntülerde bu gereksinim ancak birden fazla kamera çekimi yapılabilirse gerçekleştirilebilir. SDMR protokolünde uygulama katmanında Wyner-Ziv kayıplı dağıtık kaynak kodlaması kullanarak uygulama, ağ ve MAC katmanları istenilen QoS'i sunabilmek amacıyla birleştirilmiştir [184, 185]. DSC

birden fazla kamera çekimi ve algılayıcı düğümlerinin eşgüdümlü çalışmalarını gerektirdiğinden uygulanması kolay değildir.

Geleneksel kablolu ve kablosuz ağlarda paket önceliklendirme yoğun çalışılmış bir alandır [197]. Ancak işleme ve bellek kısıtlamaları yüzünden bu tür bütün resmi gerektiren kompleks önceliklendirme teknikleri küçük algılayıcı düğümleri için uygun değildir. Kaynak kısıtlamaları ve haberleşme kanalının değişkenliği sebebiyle önceliklendirme KÇAA için belirgin bir fark gösterir. KÇAA'da veri hacmi temel zorluktur. Öztarak ve arkadaşları bulanık mantığı kullanarak KÇAA üzerinden yalnızca hareketli nesnelere iletmeyi önermişlerdir [82]. Lecuire ve arkadaşları etkin görüntü iletimi için wavelet dönüşümünü kullanarak paketleri önceliklendirmeyi önermişlerdir [198]. Her iki çalışma da yüksek işleme gücü gerektirdiğinden bu çalışmada çok az işleme gücü ve bellek gerektiren Tekrarlanabilirlik ölçüsü [196] makro-blokları önceliklendirmede kullanılmıştır.

7.2. Benzetim Ortamı

XLCP ile güvenilir görüntü iletiminin performans değerlendirilmesi Matlab [189] ortamında kendi geliştirdiğim benzetim yazılımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. 40m X 40m bir araziye 48 algılayıcı düğümü tekdüze dağılımla ağ içerisinde boşluk alan bulunmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Hedefin koordinatı (20,0)m'dir. Her bir benzetimde (10,30)m koordinatında bir olay oluşur. Olay oluştuğunda olayın oluştuğu noktanın 8m çapında en büyük y koordinatına sahip yalnızca bir kaynak düğüm görüntü çeker. Görüntü 1024 adet makro-bloğa parçalanır. Bir veri paketi 64 byte makro-blok, 2 byte makro-blok ofset ve 13 byte protokol başlığı olmak üzere toplam 79 byte'dır. Her bir makro-bloğun önceliğini hesaplamak için R_p değeri hesaplanır. Bu nedenle her bir mako-bloğun seri porttan aktarılması ve R_p değeri hesaplama süreleri göz önüne alınarak makro bloklar belirli periyotlarla ağ iletim modülüne aktarılırlar. Bu periyodun belirlenmesinde TelosB algılayıcı düğümü referans olarak alınmıştır. Kamera ünitesi ve algılayıcı düğümü arasındaki seri ara yüz 115200 bps'dir. Bu durumda 64 byte'lık her makro-blok 5,56 ms'de algılayıcı düğüme aktarılır. R_p değerinin hesaplanma süresi 0,23 ms'dir. Bu durumda her bir 5,79 ms'de bir paket ağda iletilmek üzere ağ tampon alanına konulur. Toplam 1024 adet paket kaynaktan hedefe taşınması için 5,79 ms periyotlarla ağa enjekte edilir.

Her bir benzetim bütün paketler kaynaktan hedefe taşınmaya kadar devam eder. Beş farklı görüntü geçerli görüntü veritabanlarından [208, 209] alınmış ve benzetimlerde kullanılmıştır. Bu görüntülerin dördü Şekil 7.1.'de verilmiştir. Bu görüntüler beş kere farklı topolojilerde iletilmiş ve performans metriklerinde ortalamaları alınmıştır. Örnek algılayıcı düğümü arazi alanı Şekil 7.2.'de verilmiştir. Şekil 7.2.a. 1. resmi, Şekil 7.2.b. 2. resmi, Şekil 7.2.c. 3. resmi, ve Şekil 7.2.d. 4. resmi ifade etmektedir. Genel benzetim parametreleri Tablo 7.1.'de verilmiştir. Aksi belirtilmedikçe bu parametreler bütün benzetimlerde kullanılmıştır.



(a)



(b)

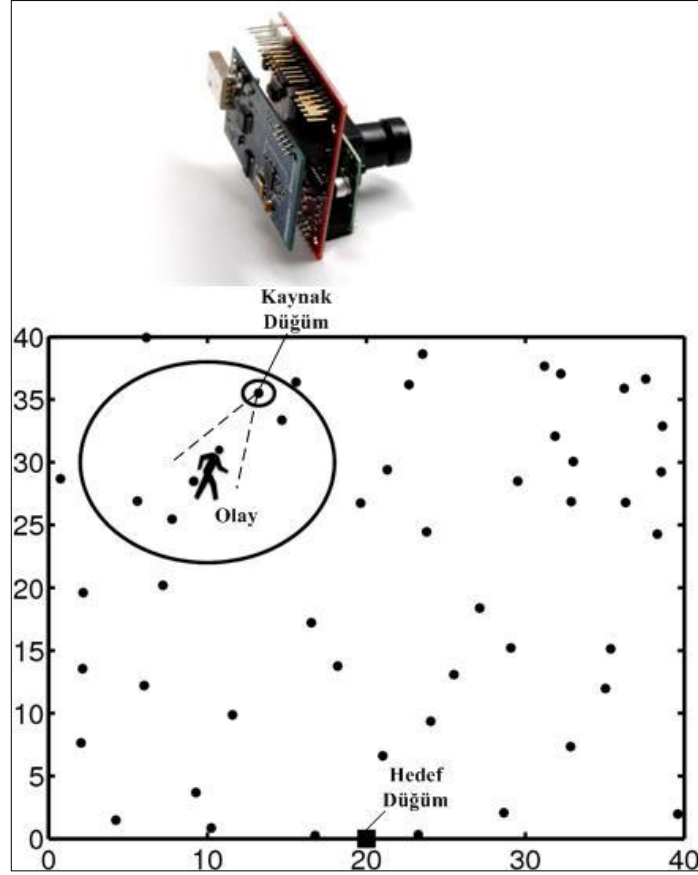


(c)



(d)

Şekil 7.1. Örnek Görüntüler



Şekil 7.2. Örnek Nesne İzleme KÇAA Arazisi

Tablo 7.1. Güvenilir Görüntü İletimi için Genel Benzetim Parametreleri

Algılayıcı Dügümü Arazi alanı	40m X 40m
Algılayıcı Dügüm Sayısı	48
Algılayıcı Dügüm Yerleşim Yöntemi	Tekdüze
Toplam Makro-blok Sayısı	1024
Makro-blok Periyodu	5,79 ms
Bant genişliği	250 Kbps
Radyo Menzili	10 m
ES Planlayıcısı	FIFO
Veri Paketi Uzunluğu	79 Bytes
RTS-I, CTS-Q Paketi Uzunluğu	20 Bytes
ACK Paketi Uzunluğu	15 Bytes
$R_p^{\text{threshold}}$	100.15

Bütün benzetimler haberleşme kanalının bit hata oranı, $BER=10^{-3}$, $BER=10^{-4}$ ve $BER=10^{-5}$ için çalıştırılmıştır. Bütün benzetimlerde düşük servis sınıfına sahip makro-bloklar için sıfır uzunluğunda tampon alan ayrılmıştır. Yüksek servis sınıfına sahip makro-bloklar için 10, 20, 40, 80 ve 160 paket uzunluğunda tampon alan ayrılmıştır. Her bir tampon alanı için tekrar iletim sayısı $ReTx=0$, $ReTx=2$, $ReTx=4$ ve $ReTx=8$ değerleri için çalıştırılmıştır.

7.3. QoS Performans Metrikleri

Performans değerlendirmelerinde aşağıda verilen performans metrikleri kullanılmıştır.

- Makro-blok Güvenirliği: Hedefte alınan toplam eşsiz makro-blok paket sayısının, kaynaktan oluşturulan toplam makro-blok paket sayısına oranıdır. Bazı makro-blok paketleri kaynak algılayıcı düğümünde yeterli tampon alan olmadığından ve bazı makro-blok paketleri CSMA sırasında çakışmadan dolayı düşürülür veya kaybolurlar. Bazı makro-blok paketleri için ACK paketi ulaşmadığından ağ içerisinde birden fazla kez iletebilirler. Bu durumda hedefte aynı makro-blok paketinin birden fazla kopyası ulaşmış olur. Makro-blok güvenliğinde birden fazla kopyası alınan makro-blok paketlerinin sadece bir tanesi işleme alınır.
- Nesne İletim Oranı: Bu çalışmanın odağı görüntülerdeki objelerin iletilmesi olduğundan, iletilen resmin kalitesi, içerisinde yer alan objelerin oranı cinsinden hesaplanabilir. OTR değeri Denklem (7.4)'de verilen şekilde hesaplanır;

$$OTR = \frac{\hat{O}_j}{O_j} \quad (7.4)$$

Kaynak düğümde alınan j resmindeki objelerde yer alan piksellerin toplamı O_j olarak ve hedefte alınan, paket kaybından dolayı bozulmuş j resmindeki objelerdeki piksellerin toplamı \hat{O}_j olarak ifade edilmiştir.

7.4. Performans Değerlendirmesi

XLCP ile güvenilir görüntü iletimi üzerine daha ayrıntılı performans değerlendirmeleri yapabilmek için, kendi geliştirdiğimiz benzetim ortamında çok

ayrıntılı benzetimler çalıştırıldı. Performans değerlendirmeleri aşağıda detaylı olarak yapılmıştır.

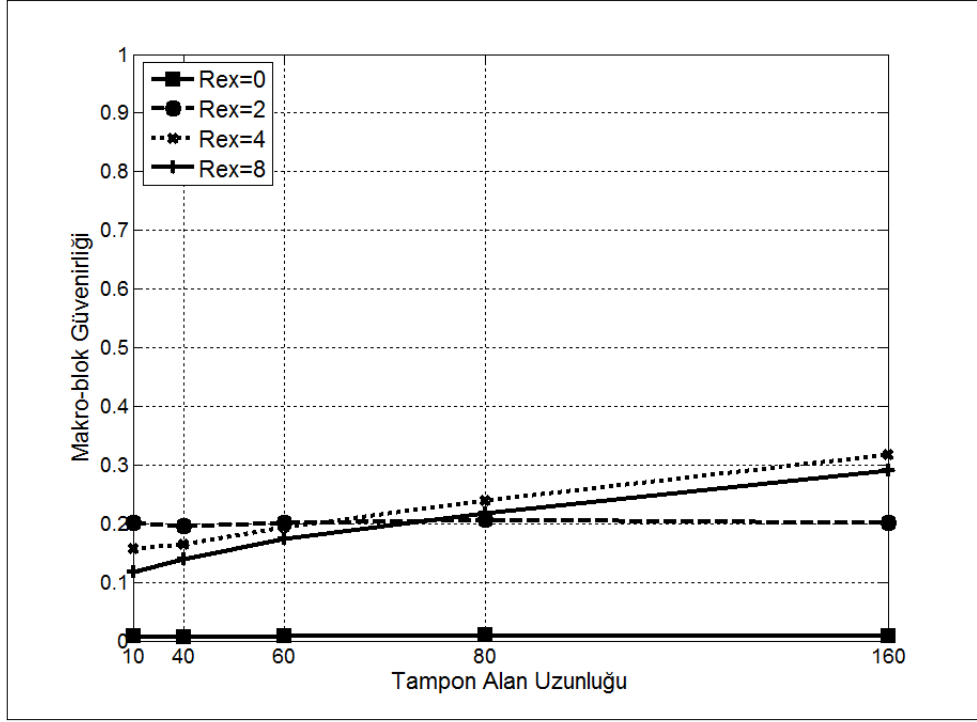
7.4.1. Makro-blok güvenilirlik sonuçları ve analizi

Makro-blok güvenilirlik grafikleri Şekil 7.3.'de verilmiştir. Makro-blok güvenilirlik hesabında düşük sınıf için hiç tampon alanı ayrılmadığından yalnızca yüksek sınıfa ait makro-blokların sayısı değerlendirmeye alınmıştır. Beklenildiği gibi makro-blok güvenilirliği BER düştüğü durumda artmaktadır.

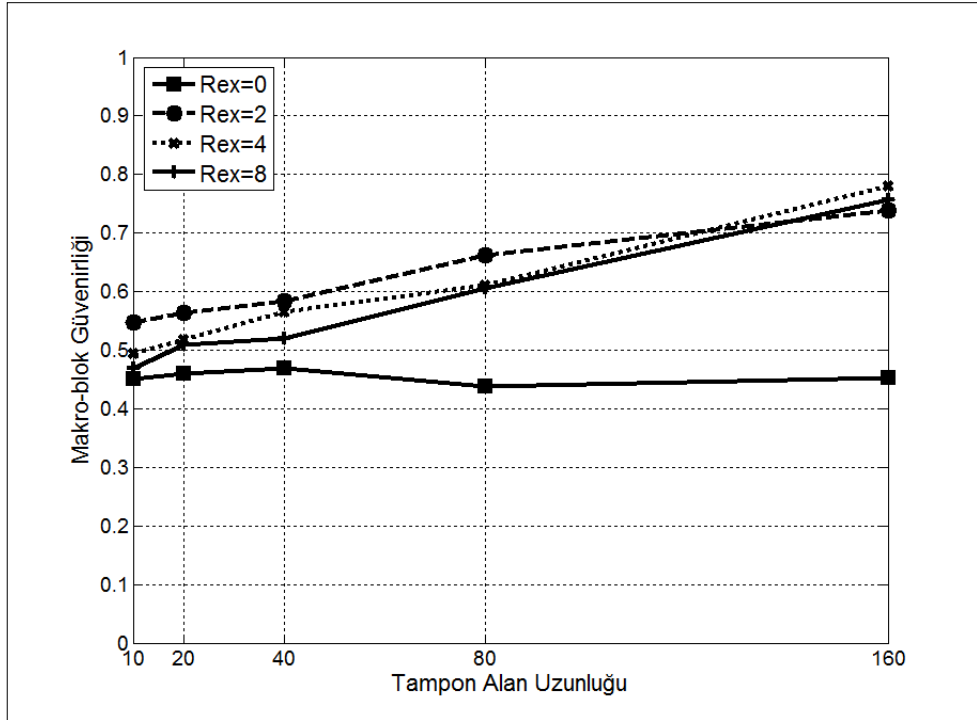
Şekil 7.3.a'da görüldüğü üzere $BER=10^{-3}$ için en iyi makro-blok güvenilirliği, tampon alan uzunluğu 10 ile 40 arasında, ReTx 2 olduğunda elde edilmektedir. En iyi makro-blok güvenilirliği tampon alan 40 ve 160 arasında, ReTx 4 olduğunda elde edilmektedir. Tampon alan 160 ile sınırlandırıldığında, ReTx=4 için en iyi makro-blok güvenilirliği %32'dir.

Şekil 7.3.b'de görüldüğü üzere $BER=10^{-4}$ için en iyi makro-blok güvenilirliği, tampon alan uzunluğu 10 ile 80 arasında, ReTx=2 olduğunda elde edilmektedir. En iyi makro-blok güvenilirliği tampon alan 80 ve 160 arasında, tampon alan uzunluğuna göre ReTx=2 veya ReTx=4 olduğunda elde edilmektedir. Tampon alan 160 ile sınırlandırıldığında, ReTx=4 için en iyi makro-blok güvenilirliği %78'dir.

Şekil 7.3.c'de görüldüğü üzere $BER=10^{-5}$ için en iyi makro-blok güvenilirliği, tampon alan uzunluğu 10 ile 20 arasında, ReTx=0 olduğunda elde edilmektedir. En iyi makro-blok güvenilirliği tampon alan 20 ve 40 arasında, tampon alan uzunluğuna göre ReTx=0 veya ReTx=2 olduğunda elde edilmektedir. En iyi makro-blok güvenilirliği tampon alan 40 ve 80 arasında, ReTx=2 olduğunda elde edilmektedir. En iyi makro-blok güvenilirliği tampon alan 80 ve 160 arasında, tampon alan uzunluğuna göre ReTx=2, ReTx=4 veya ReTx=8 olduğunda elde edilmektedir. Tampon alan 160 ile sınırlandırıldığında, ReTx=8 için en iyi makro-blok güvenilirliği %87'dir.

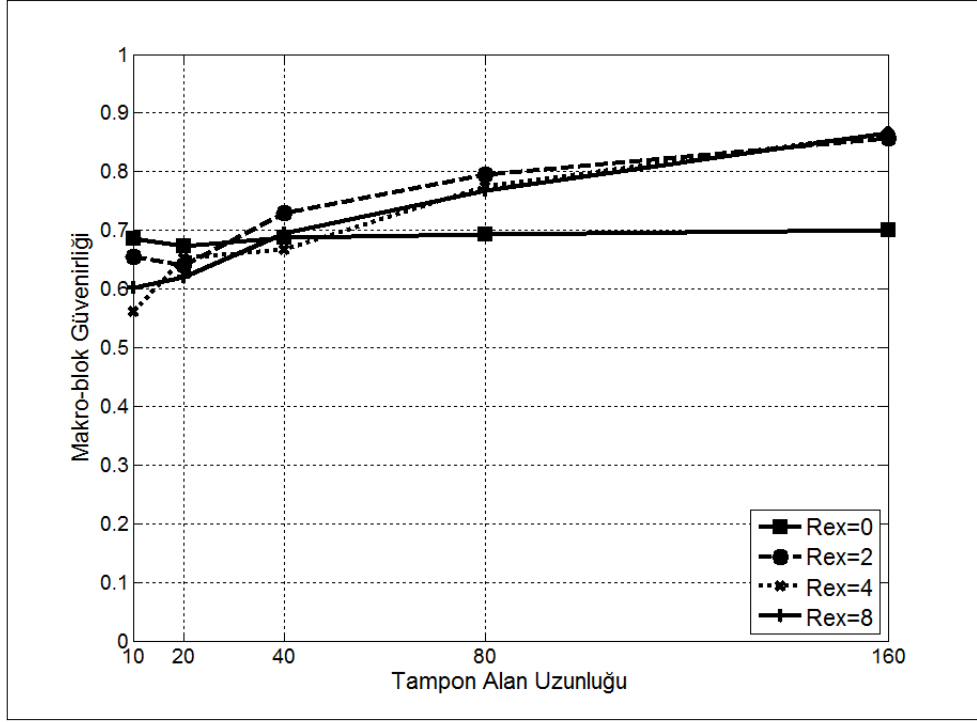


(a)



(b)

Şekil 7.3. Makro-blok Güvenirlilik Sonuçları



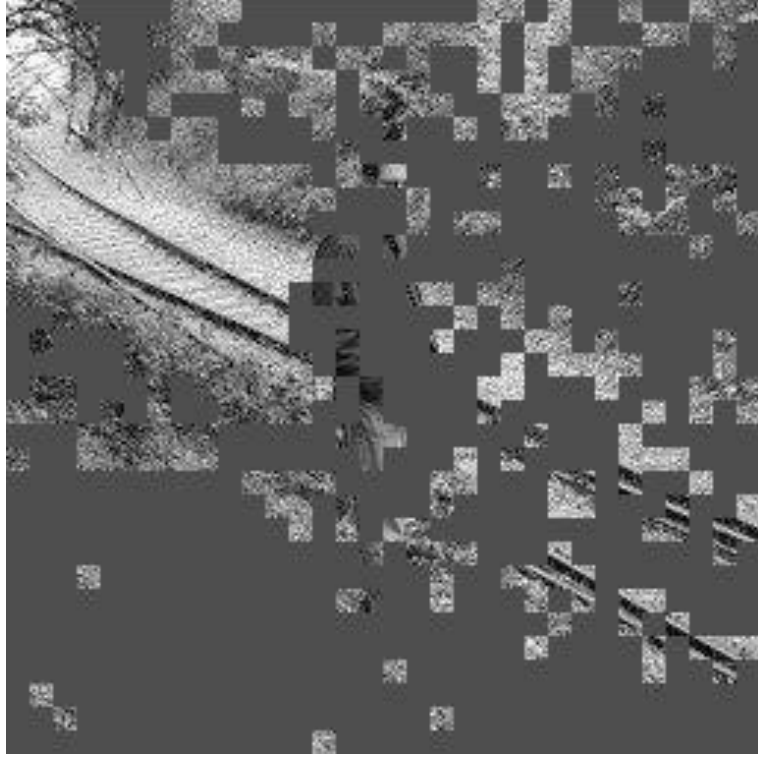
(c)

Şekil 7.3. (Devam) Makro-blok Güvenirlilik Sonuçları

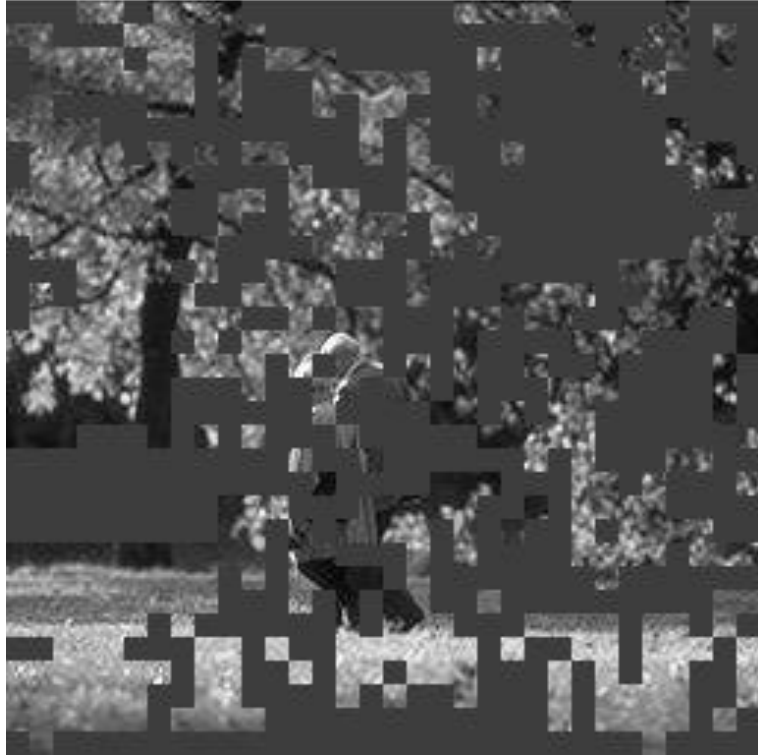
7.4.2. OTR sonuçları ve analizi

Benzetimler sonucunda OTR değeri 0 ile 0,96 arasında değişmektedir. OTR değerinin alınan görüntülerde ne ifade ettiğini gösterebilmek amacıyla farklı OTR değerleri için alınan görüntülerin görsel görünümü Şekil 7.4'de verilmiştir. Şekil 7.4.a.'da OTR=0,27 için 1. resim, Şekil 7.4.b.'de OTR = 0,48 için 2. resim, Şekil 7.4.c.'de OTR = 0,72 için 3. resim ve Şekil 7.4.d.'de OTR = 0,94 için 4. resim verilmiştir. Şekil 7.5.'de OTR sonuçları sunulmuştur. Şekil 7.5.a.'da BER= 10^{-3} için OTR, Şekil 7.5.b.'de BER= 10^{-4} için OTR ve Şekil 7.5.c.'de BER= 10^{-5} için OTR sunulmuştur.

BER= 10^{-3} için ortalama OTR değerleri 0 ve 0,25 arasında değişmektedir. Görüntü içerisinde yer alan nesnelere kaybolmuştur. Ne tampon alanı arttırmak nede ReTx'i arttırmak kabul edilebilir OTR değeri verememektedir. BER= 10^{-4} için OTR değeri 0,30 ve 0,76 arasında değişmektedir. Bu durumda tampon alanının artırılması ve ReTx'in artırılması kabul edilebilir sonuçlar vermektedir. BER= 10^{-5} için OTR değeri 0,38 ve 0,84 arasında değişmektedir. Bu durumda da tampon alanının artırılması ve ReTx'in artırılması daha iyi sonuçlar vermektedir.

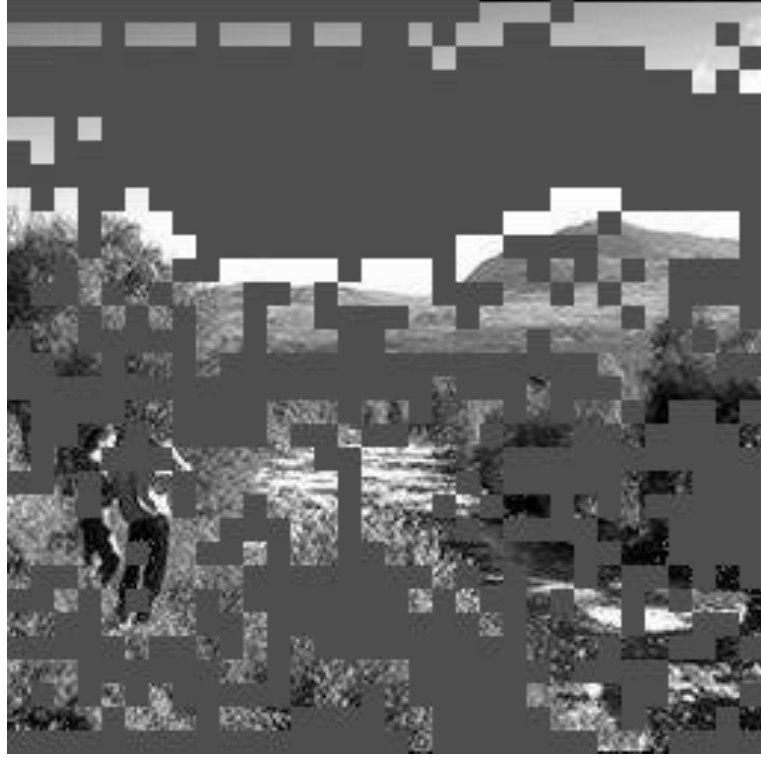


(a)

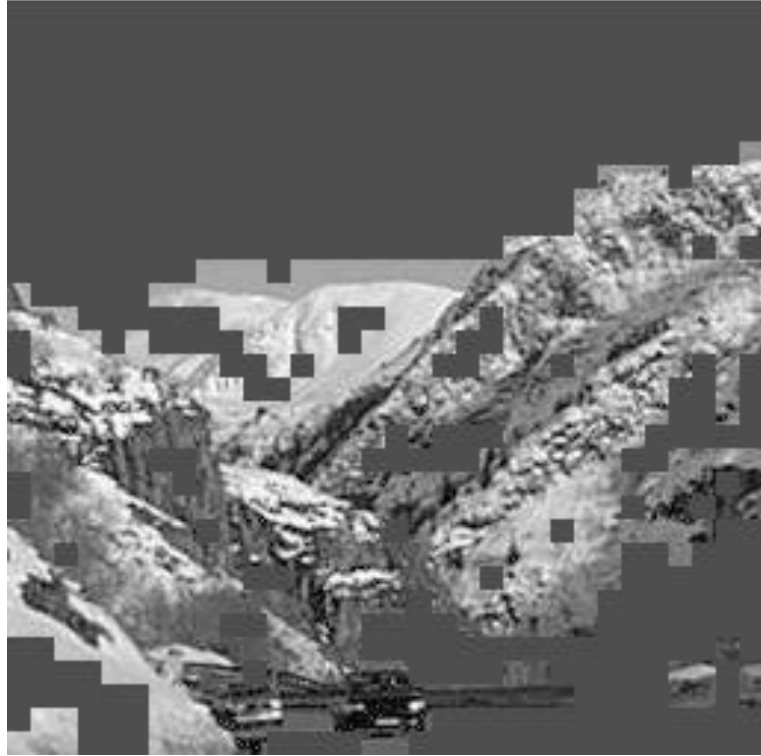


(b)

Şekil 7.4. Farklı OTR Değerleri İçin Alınan Görüntüler

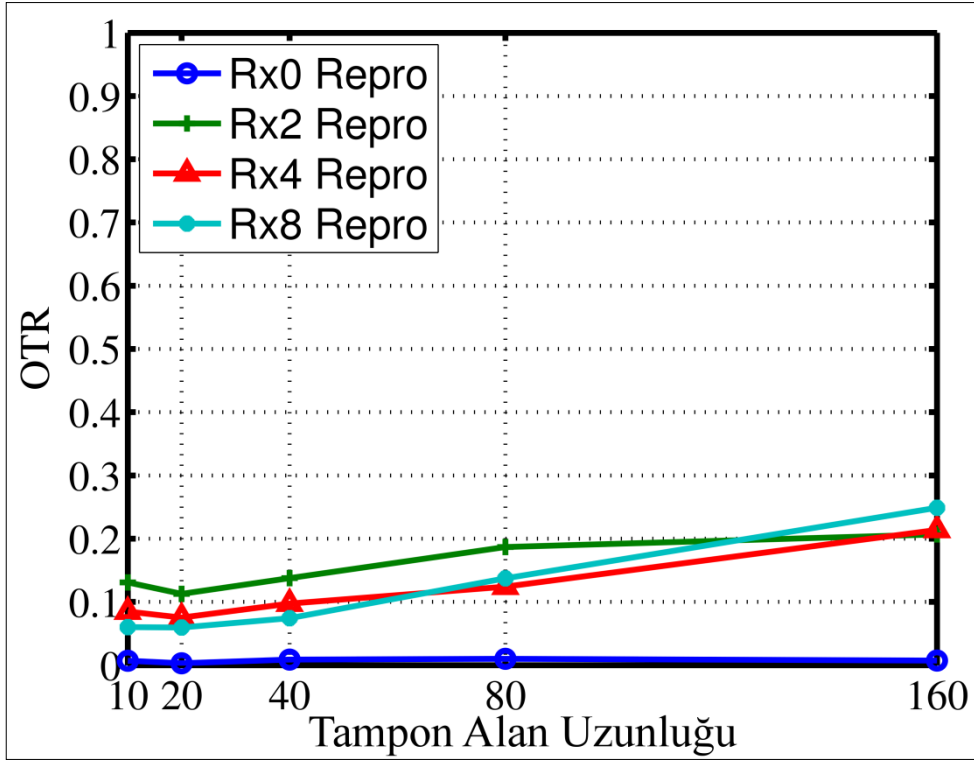


(c)

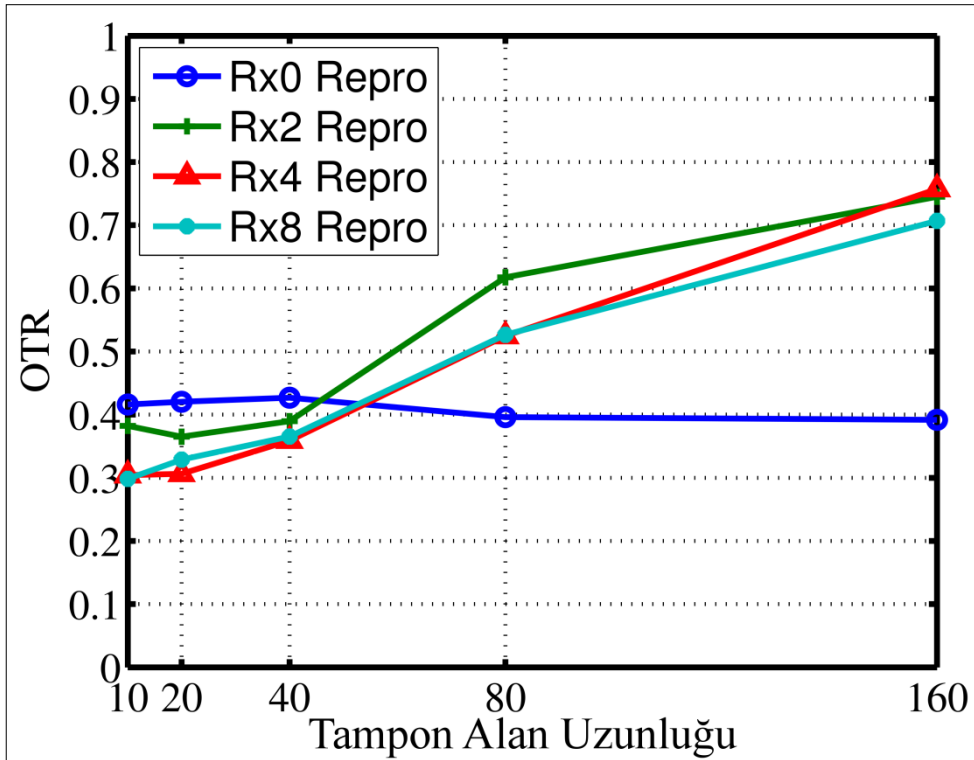


(d)

Şekil 7.4. (Devam) Farklı OTR Değerleri İçin Alınan Görüntüler

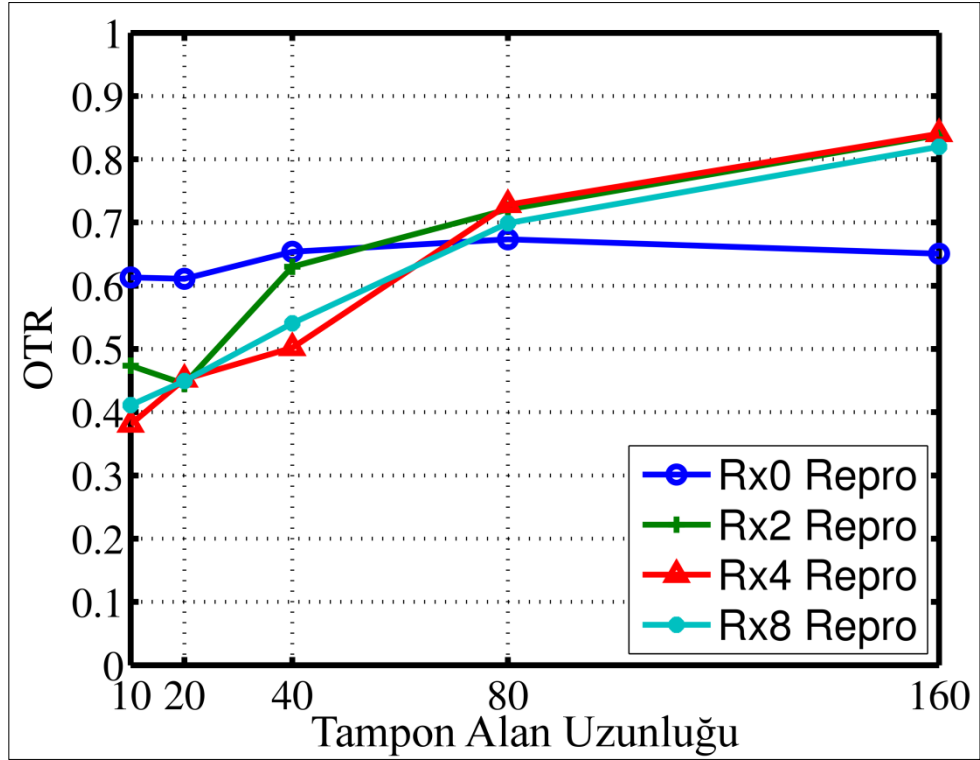


(a)



(b)

Şekil 7.5. OTR Sonuçları



(c)

Şekil 7.5. (Devam) OTR Sonuçları

7.5. Sonuçlar ve Öneriler

Kaynak kısıtlı algılayıcı düğümleri için nesne izleme uygulamasının servis farklılığı oluşturabilen bir ağdaki deneysel çalışması sunulmuştur. Bazı düğümler kamera ile donatılmış ve KÇAA üzerinde belirlenen konumlara yerleştirilmiştir. Nesne takip uygulaması makro-blokları önceliklendirebilmektedir ve ağ önceliklendirilmiş makro-blokları servis sınıflarına farklı tampon alan atayarak farklılaştırabilmektedir. En iyi makro-blok güvenilirlik ve nesne iletim değerini bulabilmek için ağda farklı tampon uzunlukları ve bağ katmanında tekrar iletim değerleri kullanılmıştır. Önceliklendirme yöntemi makro-blok paketlerini yüksek ve düşük öncelikte işaretleyebilmektedir. Bellek alanı kısıtlı olduğundan yalnızca yüksek servis sınıfı ile işaretlenmiş makro-blok paketlerine ağ içerisinde yer ayrılmıştır. Performans analizi ve değerlendirmeleri en iyi OTR değerinin farklı tampon alan uzunlukları için farklı tekrar iletim sayısı kullanarak gerçekleştirilebileceği göstermiştir.

Deneysel çalışmamızda yalnızca tek bir olayın izlenmesi durumu üzerinde çalışılmıştır. İleriki çalışmalarda birden fazla olay oluştuğu durumda deneysel

sonuçlar değerlendirilebilir. Bununla birlikte, benzetimlerde yalnızca yüksek servis sınıfına ait makro-bloklar için tampon alan kullanılmıştır. İleriki çalışmalarda hem yüksek hem de düşük servis sınıfı için tampon alan ayrıldığında sonuçlar değerlendirilebilir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

NEMS ve MEMS teknolojilerindeki gelişmeler küçük boyutlarda kablosuz algılayıcı cihazların üretimini sağlamıştır. Bu cihazlar bir araya geldiklerinde kablosuz haberleşme sağlayarak bir ağ oluşturabilmektedir. Bu kablosuz algılayıcı ağları doğa bilimleri, mühendislik, tıp, ziraat ve askeri uygulamaların ihtiyaç duyduğu daha derinlemesine ve detaylı ölçümler sağlayabilmektedir. CMOS teknolojisindeki gelişmeler bu algılayıcı cihazlara ses, görüntü, video gibi çoklu-ortam verisi toplayabilecek donanımların eklenmesini sağladı. Böylelikle sayısal ölçüm verilerinin yanı sıra çoklu-ortam verilerinin de bu ağlar üzerinden iletilebilmesi mümkün oldu.

Gerçek-zamanlı ve çoklu-ortam uygulamaları QoS ihtiyaç duyarlar. Bu doktora tezi kapsamında çapraz-katman tasarımı kullanılarak kablosuz çoklu-ortam algılayıcı ağlarında QoS sağlayacak protokol ve algoritmaların geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır.

8.1. Sonuçlar

- KÇAA üzerinde QoS sağlamaya yönelik QoS MOS mimarisi geliştirilmiştir. QoS MOS mimarisi tek bir XLCM'den oluşmaktadır. XLCM QoS MOS mimarisinde yer alan paketleri ait oldukları sınıfa göre sınıflandırır, farklı tampon alanlarına yerleştirerek tampon yönetimini sağlar, trafik planlar, bir sonraki iletileceği düğümü belirler ve ortama erişim kontrolünü sağlayarak bir sonraki düğüme iletmesini sağlar. Benzetim çalışmaları ile QoS MOS mimarisinin uygulanabilirliği gösterilmiştir.
- QoS MOS mimarisine uygun olarak XLCP tasarlanmıştır. Algılayıcı düğümleri dağıtık görev döngüsü uygularlar. Sınıflandırılan paketler belirlenen bir tampon yönetimi algoritması ile tampon alana yerleştirilir ve belirlene bir trafik planlama algoritması aracılığı ile seçilirler. Yönlendirme işlemi paketlerin bir sonraki algılayıcı düğüme ötelenmesi ile gerçekleştirilir. Öteleme işlemi ortama erişim sırasında hedefe daha yakın olan düğümlerin aday olması yöntemi ile gerçekleştirilir. Ortama erişim CSMA/CA yöntemine bezer bir şekilde gönderici

- iletim soruşturması, alıcı-tabanlı QoS-maliye saptaması, alıcı QoS-maliyet geribildirimi, veri iletimi ve alındı bildirim adımları uygulanarak gerçekleştirilir. Bir sonraki aday düğümler QoS-maliyet değeri geribildirimi yaparak paketlerin istenen kalitedeki düğümler aracılığı ile iletilmesine yardımcı olurlar. Benzetim ortamında XLCP'nin farklı tampon yönetimi, planlama, yönlendirme ve ortama erişim parametreleri ile farklı sınıflara ait olan paketlerin buldukları düğüm üzerinde farklı davranışlar sağladığı gösterilmiştir.
- XLCP parametrik olarak analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Deneysel benzetim çalışmaları ile XLCP içinde yer alan parametreler değiştirilerek XLCP'nin iki farklı servis sınıfı için farklı QoS metriklerini nasıl etkilediği grafiklerle gösterilmiş ve değerlendirilmiştir. İki farklı servis sınıfı için tampon alan, çekişme zaman dilimi, tampon alan ve çekişme zaman dilimi, maliyet fonksiyonu içerisinde yer alan maksimum veri oranı, maliyet fonksiyonu içerisinde yer alan maksimum tampon alan ve ağırlıklı dairesel sıralı planlayıcısı parametreleri farklı değerlerde tutularak belirlenen QoS metriklerine ilişkin grafikler farklı olay oluşma frekansları için çıkarılmıştır. Bu parametrelerin iki farklı sınıf için QoS farklılaştırdığı gösterilmiştir. Bunlarla birlikte farklı fiziksel katman yayılma modellerinin QoS metriklerini etkilediği gösterilmiştir.
- Deneysel benzetim çalışmaları ile XLCP'nin MMSPEED ve GEO-FLOOD olmak üzere iki ayrı QoS sunmaya yönelik protokolle belirlenen QoS metrikleri kullanılarak karşılaştırması yapılmıştır ve üstünlükleri belirlenmiştir.
- XLCP'nin çoklu-ortam verisi iletebilme potansiyeli önceliklendirilmiş görüntü verisinin XLCP aracılığı ile iletilmesi gerçekleştirilerek analiz edilmiştir ve değerlendirilmiştir. Algılayıcı ağı üzerinde bulunan bir düğüm tek bir görüntü çekmekte, bu resmi makro-bloklara ayırmakta ve önceliklendirmektedir. Önceliklendirilen makro-bloklar parçalanma ve önceliklendirme işlemlerinden geçtikleri için belirli periyotlarla ağa enjekte edilmiştir. Ağ içindeki tampon alan kaynakları kısıtlı olduğundan yalnızca yüksek kalitedeki servis sınıfına ait paketler için tampon alan ayrılmıştır. Yüksek, orta ve düşük BER kanallarında farklı tampon uzunlukları için farklı tekrar iletim değerleri için hedefte alınan makro-blokların güvenilirlik ve nesne iletim oranı grafikleri çıkarılmıştır. Sonuç olarak ağ içerisinde farklı tampon alan uzunluğu için optimum güvenilirliği ve nesne iletim oranı farklı tekrar iletim değerlerinin sağladığı görülmüştür.

- XLCP'nin çoklu-ortam verisi iletebilme potansiyeli ses ve hareket takibi kapsamında aktivite takibi uygulaması ile değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Farklı tampon uzunluğu için farklı iletim gücü değerleri için hedefte alınan ses segmentlerinin güvenilirlik ve R-faktör grafikleri çıkarılmıştır. Ağ içerisinde farklı tampon uzunluğu için optimum güvenilirliği ve R-faktör değerini farklı iletim gücünün sağladığı görülmüştür.
- Şu ana kadar gerçekleştirilen deneysel benzetim çalışmaları sonucunda XLCP'nin kablosuz çoklu-ortam algılayıcı ağları üzerinde QoS sağlayabildiği gösterilmiştir.

8.2. Öneriler

- XLCP'nin performans analizi iki farklı servis sınıfı için tampon alan, çekişme zaman dilimi, tampon alan ve çekişme zaman dilimi birlikte, maliyet fonksiyonu içerisinde yer alan maksimum veri oranı, maliyet fonksiyonu içerisinde yer alan maksimum tampon alan parametreleri farklı değerlerde tutularak belirlenen QoS metriklerine ilişkin grafikler farklı olay oluşma frekansları için çıkarılmıştır. XLCP içerisinde bunun dışında birçok parametre daha bulunmaktadır. XLCP'nin analizi ve değerlendirmesi diğer parametrelerin QoS üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- XLCP birden fazla servis sınıfını destekleyebilmektedir. Yapılan benzetim çalışmalarında yalnızca iki servis sınıfı kullanılmıştır. İki servis sınıfının üzerinde servis sınıfı tanımlandığında performans değerlendirmeleri de yapılabilir.
- XLCP içerisinde yer alan bazı parametreler sabit olarak tanımlanmıştır. Algılayıcı ağı içerisindeki dinamikler değiştiğinde sabit belirlenen parametreler optimum performansı sağlamaya yetmeyebilir. Bu nedenle bu parametrelerin ağın dinamiğine uygun olarak uyarlamalı olarak belirlenmesi gerekebilir.
- XLCP'nin enerji değerlendirilmesi paket iletimi, paket alımı ve kanal dinleme süresi göz önüne alınarak belirlenen değerler kullanılarak değerlendirilmiştir. Gerçek ortamda bu belirlenen parametreler dışında başka parametreler de enerji kullanımını etkilemektedir. Gerçek ölçümler kullanılarak daha gerçeğe yakın enerji değerlendirmesi yapılabilir.
- XLCP'nin karşılaştırmalı performans değerlendirmesi MMSPEED ve GEO-FLOOD protokolleri ile yapılmıştır. Bu protokollerinin seçilmesinin nedeni

XLCP ile benzer amaçlı olmalarıdır. Bunların dışında son zamanlarda ortaya çıkan başka protokoller de literatürde yer almaktadır. XLCP'nin karşılaştırmalı performans değerlendirmesi diğer protokollerle de yapılabilir.

- XLCP kullanılarak görüntü iletilmesi gerçekleştirilmiştir. Ağ içerisinde birden fazla görüntü kaynağı olduğunda tampon alanının ve tekrar iletim sayısının nasıl etkilendiği araştırılabilir. Bununla birlikte ses ve video kaynakları da eklenerek yalnızca güvenilirlik için değil gecikme ve jitter için de QoS araştırması yapılabilir. Ağ içerisindeki çoklu-ortam kaynaklarının sayısı, servis sınıflarının sayısı, farklı XLCP parametreleri, farklı topolojiler ve kanal modelleri üzerine çalışılabilir.
- Gerçek-zamanlı ve çoklu-ortam uygulamalarının QoS gereksinimlerinin XLCP'nin QoS potansiyeliyle nasıl eşleştirileceği belirli değildir. Görüntü verisinin iletilmesi üzerine çalışılmıştır. Ses verisinin iletilmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir. Bunlarla birlikte farklı gerçek-zaman ve çoklu-ortam uygulamaları belirlenerek hangi XLCP QoS sınıfının kullanılmasının daha kaliteli sonuçlar verileceği araştırılabilir. Uygulamaların doğrudan XLCP ile ara yüz olmaları optimum sonuçlar vermeyebilir. Bu durumda uygulamalar belirli bir adaptasyon katmanı aracılığı ile XLCP'ye erişmek isteyebilirler. Böyle bir adaptasyon katmanının geliştirilmesi gerekebilir.
- Gerçek-zamanlı ve çoklu-ortam uygulamaları XLCP'nin QoS ihtiyaçlarına göre farklı metotlar, mekanizmalar ve algoritmalarla güçlendirilmesini gerektirebilir. XLCP bu uygulamaların ihtiyaçlarına uygun olarak daha da geliştirilebilir. QoS MOS mimarisi içerisinde XLCP dışında QoS sunabilecek protokol ve algoritmaların tanımlanması mümkündür. Gelecekte QoS MOS mimarisi içerisinde tanımlanabilecek XLCP dışında protokollerin geliştirilmesi yapılabilir. Geliştirilen bu protokoller XLCP ile karşılaştırılabilir.
- Yapılan bütün performans değerlendirme çalışmaları Matlab ortamında geliştirilen benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir. Bütün performans değerlendirmeleri test ortamında yapılabilir.
- XLCP tek bir katmandan oluşmuş bir protokoldür. Belirli bir fiziksel katman ve bağı katmanı (örneğin Zigbee, 802.15.4, UWB, v.b.) üzerinde hazır gelen algılayıcı cihazları ticari olarak bulunmaktadır. Çapraz katman tasarım ile

geliştirilmiş XLCP'yi kullanmanın ve mevcut katmanlı protokollerle bu cihazları kullanmanın avantajları ve dezavantajları araştırılabilir.

- Öneriler sonuçlardan daha fazladır. Bunun nedeni XLCP protokolünde çok sayıda parametrenin yer almasından, XLCP'nin farklı çoklu-ortam uygulamaları için kullanılabilmesinden ve KCAA için QoS sağlayacak çapraz-katman protokollerinin geliştirilmesinin yeni bir alan olmasından kaynaklanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Whitman E. C., SOSUS The Secret Weapon of Undersea Surveillance, Undersea Warfare, http://www.navy.mil/navydata/cno/n87/usw/issue_25/sosus.htm, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [2] URL-1: <http://en.wikipedia.org/wiki/SOSUS>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [3] Pister K. S., WSN Timeline UCB Robotics Lab, <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/290Q/timeline.htm>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [4] URL-2: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/rembass.htm>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [5] URL-3: <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA143691>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [6] URL-4: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a050160.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [7] URL-5: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a103045.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [8] Chong C. Y., Chang K. C., Mori S., Distributed Tracking in Distributed Sensor networks, *Amer. Control Conf.*, Seattle, WA, USA, 18-20 June 1986.
- [9] Chong C. Y., Mori S., Chang K. C., Distributed Multitarget Multisensor Tracking, Editor: Bar-Shalom Yaakov, *Multitarget Multisensor Tracking: Advanced Applications*, 1st ed., Artech House, London, 247-296, 1990.
- [10] URL-6: <http://www.computerhistory.org/semiconductor/timeline.html>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [11] URL-7: http://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_circuit (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [12] Feynman R. P., Plenty of Room at the Bottom, Caltech Information Technology Services, <http://www.its.caltech.edu/~feynman/plenty.html>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [13] URL-8: http://en.wikipedia.org/wiki/There%27s_Plenty_of_Room_at_the_Bottom, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).

- [14] URL-9: <http://www.computerhistory.org/semiconductor/timeline/1965-Moore.html>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [15] URL-10: http://en.wikipedia.org/wiki/Microelectromechanical_systems, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [16] URL-11: http://www.inems.com/mems_course_area/01_introduction/MEMS_History.htm, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [17] Pister K., On the Limits and Applications of MEMS Sensor Networks, 2001 Defense Science Study Group Report, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.22.2908>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [18] URL-12: http://en.wikipedia.org/wiki/Sensor_node, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [19] Bult K., Burstein A., Chang D., Dong M., et al., Low Power Systems for Wireless Microsensors, *International Symposium on Low Power Electronics and Design*, Monterey, California, USA, 12-14 August 1996.
- [20] Asada G., Dong M., Lin T. S., et al., Wireless integrated network sensors: Low Power Systems on a Chip, *24th European Solid-State Circuits Conference*, Hague, Netherlands, 22-24 September 1998.
- [21] Burnstein A., Bult K., Chang D., Chang F., et al., Wireless Integrated Microsensors, *Sensors and Sys EXPO*, Anaheim, CA, USA, 15-21 April 1996.
- [22] Pottie G. J., Kaiser W. J., Wireless Integrated Network Sensors, *Communications of the ACM*, 2000, **43**(5), 51-58.
- [23] URL-13: http://bwrc.eecs.berkeley.edu/research/pico_radio/, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [24] Pister K., Smart Dust, UCB Robotics Lab, <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [25] Polastre J., Szewczyk R., Sharp C., Culler D., The Mote Revolution: Low Power Wireless Sensor Network Devices, *Hot Chips 16: A Symposium on High Performance Chips*, Memorial Auditorium, Stanford University, CA, USA, 22-24 August 2004.
- [26] Despont M., Brugger J., Drechsler J. U., et al., VLSI-NEMS Chip for Parallel AFM Data Storage, *Elsevier Sensors and Actuators A: Physical*, 2000, **80**(2), 100-107.
- [27] URL-14: http://en.wikipedia.org/wiki/Nanoelectromechanical_systems, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).

- [28] Freitas R. A., Nanoelectromechanical Systems (NEMS) History, Foresight Institute, <http://www.foresight.org/Nanomedicine/Systems.html>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [29] Saffo P., Sensors: The Next Wave of Innovation, *Communications of the ACM*, 1997, **40**(2), 92-97.
- [30] Armstrong L., 21 ideas for the 21st century, Business Week, http://www.businessweek.com/1999/99_35/2121_content.htm, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [31] URL-15: http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [32] Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramaniam Y., Cayirci E., Wireless Sensor Networks: a Survey, *Elsevier Computer Networks*, 2002, **38**(4), 393-422.
- [33] Chong C. Y., Kumar S. P., Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges, *Proceedings of the IEEE*, 2003, **91**(8), 1247-1256.
- [34] Yick J., Mukherjee B., Ghosal D., Wireless Sensor Network Survey, *Elsevier Computer Networks*, 2008, **52**(12), 2292-2330.
- [35] Dohler M., Wireless Sensor Networks: The Biggest Cross-community Design Exercise To-date, *Bentham Recent Patents on Computer Science*, 2008, **1**(1), 9-25.
- [36] Estrin D., Govindan R., Heidemann J., Kumar S., Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks, *5th annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, Seattle, WA, USA, 15-19 August 1999.
- [37] Kahn J. M., Katz R. H., Pister K. S. J., Next Century Challenges: Mobile Networking for Smart Dust, *5th annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, Seattle, WA, USA, 15-19 August 1999.
- [38] URL-16: http://en.wikipedia.org/wiki/Ad-hoc_network, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [39] Hundley R. O., Gritton E. C., Future Technology-Driven Revolutions in Military Operations, RAND, http://www.rand.org/pubs/documented_briefings/2007/DB110.pdf, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [40] Brendley K. E., Steeb R., Military Applications of Microelectromechanical Systems, RAND, http://www.rand.org/pubs/monograph_reports/2006/MR175.pdf, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [41] URL-17: http://en.wikipedia.org/wiki/Sensor_Web, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).

- [42] URL-18: <http://webs.cs.berkeley.edu/nest-index.html>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [43] URL-19: <http://smote.cs.berkeley.edu:8000/tracenv/wiki>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [44] URL-20: <http://research.cens.ucla.edu/>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [45] URL-21: <http://webs.cs.berkeley.edu/related.html>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [46] Romer K., Mattern F., The Design Space of Wireless Sensor Networks, *IEEE Wireless Communications*, 2004, **11**(6), 54-61.
- [47] Qi H., Iyengar S. S., Chakrabarty K., Distributed Sensor Networks- A Review of Recent Research, *Elsevier Journal of the Franklin Institute*, 2001, **338**(6), 655-668.
- [48] Akyildiz I. F., Kasimoglu I. H., Wireless Sensor and Actor Networks: Research Challenges, *Elsevier Ad Hoc Networks*, 2004, **2**(4), 351-367.
- [49] Melodia T., Pompili D., Gungor V. C., Akyildiz I. F., Communication and Coordination in Wireless Sensor and Actor Networks, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2007, **6**(10), 1116-1129.
- [50] Demir A., Kucuk K., Kavak A., Software Synthesis and Development Environments for Embedded Sensor Networks, *International Informatics Congress (Biltek2005)*, Eskişehir, Turkey, 10-12 June 2005.
- [51] URL-22: http://www.dodccrp.org/files/Alberts_NCW.pdf, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [52] URL-23: <http://techdigest.jhuapl.edu/td/td1604/APLteam.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [53] URL-24: <http://www.dote.osd.mil/pub/reports/FY1999/navy/99fds.html>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [54] Carts-Powell Y., Unattended ground sensors stop and analyze the roses, SPIE Defence & Security, <http://spie.org/x18996.xml?ArticleID=x18996>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [55] URL-25: <http://www.marcorsyscom.usmc.mil/sites/cins/INTEL/SURVEILLANCE%20&%20TARGET%20IDENTIFICATION/TRSS.html>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [56] Raghunathan V., Schurgers C., Park S., Srivastava M. B., Energy-aware Wireless Microsensor Networks, *IEEE Signal Processing Magazine*, 2002, **19**(2), 40-50.

- [57] Anastasi G., Conti M., Difrancesco M., Passarella A., Energy Conservation in Wireless Sensor Networks: A survey, *Elsevier Ad Hoc Networks*, 2009, **7**(3), 537-568.
- [58] Shin Y., Choi K., Power Conscious Fixed Priority Scheduling for Hard Real-time Systems, *IEEE 36th Design Automation Conference*, New Orleans, LA, USA, 21-25 June 1999.
- [59] Okuma T., Ishihara T., Yasuura H., Real-time Task Scheduling for a Variable Voltage Processor, *IEEE 12th International Symposium on System Synthesis*, Boca Raton, FL, USA, 1-4 November 1999.
- [60] URL-26: <http://en.wikipedia.org/wiki/CMOS>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [61] URL-27: http://en.wikipedia.org/wiki/CMOS_image_sensor, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [62] Fossum E. R., CMOS Image Sensors: Electronic Camera-on-a-chip, *IEEE Transactions on Electron Devices*, 1997, **44**(10), 1689-1698.
- [63] Rinner B., Winkler T., Schriebl W., Quaritsch M., Wolf W., The Evolution From Single to Pervasive Smart Cameras, *Second ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras*, Stanford University, CA, USA, 7-11 September 2008.
- [64] Polastre J., Szewczyk R., Culler D., Telos: Enabling Ultra-low Power Wireless Research, *Fourth International Symposium on Information Processing in Sensor Networks*, UCLA, Los Angeles, CA, USA, 25-27 April 2005.
- [65] Nachman L., Huang J., Shahabdeen J., Adler R., Kling R., Imote2: Serious Computation at the Edge, *International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, Crete Island, Greece, 6-8 August 2008.
- [66] Rahimi M., Baer R., Iroezi O. I., Garcia J. C., Warrior J., Estrin D., Srivastava M., Cyclops: In Situ Image Sensing and Interpretation in Wireless Sensor Networks, *3rd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, San Diego, CA, USA, 2-4 November 2005.
- [67] Rowe A., Goode A., Goel D., Nourbakhsh I., CMUcam3: An Open Programmable Embedded Vision Sensor, *International Conferences on Intelligent Robots and Systems*, San Diego, CA, USA, 29 October-2 November 2007.
- [68] Feng W., Kaiser E., Feng W. C., Baillif M. L., Panoptes: Scalable Low-power Video Sensor Networking Technologies, *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications*, 2005, **1**(2), 151-167.
- [69] Boice J., Lu X., Margi C., Stanek G., Zhang G., Manduchi R., Obraczka K., Meerkats: A Power-aware, Self-managing Wireless Camera Network for Wide Area Monitoring, *Distributed Smart Cameras Workshop-SenSys06*, Boulder, CO, USA, 31 October-3 November 2006.

- [70] URL-28: <http://www.acroname.com/garcia/garcia.html>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [71] Hengstler S., Prashanth D., Fong S., Aghajan H., MeshEye: A Hybrid-resolution Smart Camera Mote for Applications in Distributed Intelligent Surveillance, *6th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks*, Cambridge, MA, USA, 25-27 April 2007.
- [72] Kleihorst R., Abbo A., Schueler B., Danilin A., Camera Mote With a High-performance Parallel Processor for Real-time Frame-based Video Processing, *First ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras*, Vienna, Austria, 25-28 September 2007.
- [73] Rowe A., Goel D., Rajkumar R., Firefly Mosaic: A Vision-enabled Wireless Sensor Networking System, *28th IEEE International Real-Time Systems Symposium*, Tucson, Arizona, USA, 3-6 December 2007.
- [74] Chen P., Ahammad P., Boyer C., et al., CITRIC: A Low-bandwidth Wireless Camera Network Platform, *Second ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras*, Stanford University, CA, USA, 7-1 September 2008.
- [75] Garrido S. M., et al., The Eye-RIS CMOS Vision System, *Springer Analog Circuit Design*, 2008, **1**(1), 15-32.
- [76] Fernandez-Berni J., Carmona-Galan R., et al., Wi-FLIP: A Wireless Smart Camera based on a Focal-plane Low-power Image Processor, *Fifth ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras*, Ghent, Belgium, 22-25 August 2011.
- [77] Margi C. B., Manduchi R., Obraczka K., Energy Consumption Tradeoffs in Visual Sensor Networks, *24th Brazilian Symposium on Computer Networks*, Curitiba, PR, Brazil, 29 May-2 June 2006.
- [78] Misra S., Reisslein M., Xue G., A Survey of Multimedia Streaming in Wireless Sensor Networks, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2008, **10**(4), 18-39.
- [79] Soro S., Heinzelman W., A survey of visual sensor networks, *Hindawi Publishing Corporation Advances in Multimedia*, 2009, **1**(1), 1-22.
- [80] Charfi Y., Wakamiya N., Murata M., Challenging Issues in Visual Sensor Networks, *IEEE Wireless Communications*, 2009, **16**(2), 44-49.
- [81] Gurses E., Akan O. B., Multimedia Communication in Wireless Sensor Networks, *Springer Annals of Telecommunications*, 2005, **60**(7), 872-900.
- [82] Oztarak H., Yazici A., Aksoy D., George R., Multimedia Processing in Wireless Sensor Networks, *4th International Conference on Innovations in Information Technology*, Dubai, United arab Emirates, 18-20 November 2007.

- [83] Akyildiz I. F., Melodia T., Chowdhury K. R., A Survey on Wireless Multimedia Sensor Networks, *ACM The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, 2007, **51**(4), 921-960.
- [84] Almalkawi I. T., Zapata M. G., Al-Karaki J. N., Morillo-Pozo J., Wireless Multimedia Sensor Networks: Current Trends and Future Directions, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Sensors*, 2010, **10**(7), 6662-6717.
- [85] Ma H. D., Tao D., Multimedia Sensor Network and its Research Progresses, *Ruan Jian Xue Bao (Journal of Software)*, 2006, **17**(9), 2013-2028.
- [86] Rosário D., Machado K., Abelém A., Monteiro D., Cerqueira E., Recent Advances and Challenges in Wireless Multimedia Sensor Networks, *Intechopen Mobile Multimedia - User and Technology Perspectives*, 2011, **1**(4), 73-80.
- [87] Akyildiz I. F., Melodia T., Chowdhury K. R., Wireless Multimedia Sensor Networks: Applications and Testbeds, *Proceedings of the IEEE*, 2008, **96**(10), 1588-1605.
- [88] Campbell J., Gibbons P. B., Nath S., Pillai P., Seshan S., Sukthankar R., IrisNet: An Internet-scale Architecture for Multimedia Sensors, *13th Annual ACM International Conference on Multimedia*, Singapore, 6-12 November 2005.
- [89] Cucchiara R., Multimedia Surveillance Systems, *Third International Workshop on Video Surveillance & Sensor networks*, New York, NY, USA, 1-2 August 2005.
- [90] Balakrishnan H., Padmanabhan V. N., Seshan S., Katz R. H., A Comparison of Mechanisms for Improving TCP Performance over Wireless Links, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1997, **5**(6), 756-769.
- [91] Shakkottai S., Rappaport T. S., Karlsson P. C., Cross-layer Design for Wireless Networks, *IEEE Communications Magazine*, 2003, **41**(10), 74-80.
- [92] Srivastava V., Motani M., Cross-layer Design: A Survey and the Road Ahead, *IEEE Communications Magazine*, 2005, **43**(12), 112-119.
- [93] Venkatasubramaniam P., Adireddy S., Tong L., Opportunistic ALOHA and Cross Layer Design for Sensor Networks, *IEEE Military Communications Conference*, San Diego, CA, USA, 13-16 October 2003.
- [94] Safwati A., Hassanein H., Mouftah H., Optimal Cross-layer Designs for Energy-efficient Wireless Ad Hoc and Sensor Networks, *2003 IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference*, Fort Worth, 23-26 March 2003.
- [95] Vanhoesel L., Nieberg T., Wu J., Havinga P. J. M., Prolonging the Lifetime of Wireless Sensor Networks by Cross-layer Interaction, *IEEE Wireless Communications*, 2004, **11**(6), 78-86.

- [96] Lachenmann A., Marron P. J., Minder D., Rothermel K., An Analysis of Cross-layer Interactions in Sensor Network Applications, *IEEE 2005 International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing*, Los Angeles, CA, USA, 25-27 April 2005.
- [97] Melodia T., Vuran M. C., Pompili D., The State of the Art in Cross-layer Design for Wireless Sensor Networks, *Springer Wireless Systems and Network Architectures in Next Generation Internet*, 2006, **3883**, 78-92.
- [98] Karaca O., Sokullu R., Comparative study of cross layer frameworks for wireless sensor networks, *1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology*, Aalborg, Denmark, 17-20 May 2009.
- [99] Mendes L. D. P., Rodrigues J. J., A Survey on Cross-layer Solutions for Wireless Sensor Networks, *Elsevier Journal of Network and Computer Applications*, 2011, **34**(2), 523-534.
- [100] URL-29: <http://www.itu.int/rec/T-REC-X.200-199407-I/en>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [101] Shih E., Cho S. H., Ickes N., Min R., Sinha A., Wang A., Chandrakasan A., Physical Layer Driven Protocol and Algorithm Design for Energy-efficient Wireless Sensor Networks, *7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, Rome, Italy, 16-21 June 2001.
- [102] Akyildiz I. F., Vuran M. C., Akan O. B., A Cross-layer Protocol for Wireless Sensor Networks, *IEEE 40th Annual Conference on Information Sciences and Systems*, Princeton, NJ, USA, 22-24 March 2006.
- [103] Liang Q., Yuan D., Wang Y., Chen H. H., A Cross-layer Transmission Scheduling Scheme for Wireless Sensor Networks, *Elsevier Computer Communications*, 2007, **30**(14), 2987-2994.
- [104] Galluccio L., Leonardi A., Morabito G., Palazzo S., A MAC/ Routing Cross-layer Approach to Geographic Forwarding in Wireless Sensor Networks, *Elsevier Ad hoc networks*, 2007, **5**(6), 872-884.
- [105] Vuran M. C., Akyildiz I. F., XLP: A cross-layer protocol for efficient communication in wireless sensor networks, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2010, **9**(11), 1578-1591.
- [106] Beluch T., Dragomirescu D., Plana R., A sub-nanosecond Synchronized MAC-PHY Cross-layer design for Wireless Sensor Networks, *Elsevier Ad Hoc Networks*, 2013, **11**(3), 833-845.
- [107] Cui S., Madan R., Goldsmith Lall A., S., Joint routing, MAC, and link layer optimization in sensor networks with energy constraints, *IEEE International Conference on Communications*, Seoul, Korea, 16-20 May 2005.

- [108] Chiang M., Balancing Transport and Physical Layers in Wireless Multihop Networks: Jointly Optimal Congestion Control and Power Control, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2005, **23**(1), 104-116.
- [109] Hayes J., Adaptive Feedback Communications, *IEEE Transactions on Communication Technology*, 1968, **16**(1), 29-34.
- [110] Cavers J., Variable-rate Transmission for Rayleigh Fading Channels, *IEEE Transactions on Communications*, 1972, **20**(1), 15-22.
- [111] Shan Y., Cross-layer Techniques for Adaptive Video Streaming Over Wireless Networks, *Hindawi Publishing Corporation EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2005, **1**(2), 220-228.
- [112] Setton E., Yoo T., Zhu X., Goldsmith A., Girod B., Cross-layer Design of Ad Hoc Networks for Real-time Video Streaming, *IEEE Wireless Communications*, 2005, **12**(4), 59-65.
- [113] Ue T., Sampei S., Morinaga N., Hamaguchi K., Symbol Rate and Modulation Level-controlled Adaptive Modulation/TDMA/TDD System for High-bit-rate Wireless Data Transmission, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1998, **47**(4), 1134-1147.
- [114] Schurgers C., Aberthorne O., Srivastava M., Modulation Scaling for Energy Aware Communication Systems, *2001 International Symposium on Low Power Electronics and Design*, Hungtinton Beach, CA, USA, 6-7 August 2001.
- [115] Raghunathan V., Ganeriwal S., Schurgers C., Srivastava M., E2 WFQ: An Energy Efficient Fair Scheduling Policy for Wireless Systems, *ACM 2002 International Symposium on Low Power Electronics and Design*, Monterey, CA, 12-14 August 2002.
- [116] Yu Y., Krishnamachari B., Prasanna V. K., Energy-latency Tradeoffs for Data Gathering in Wireless Sensor Networks, *Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, Hong Kong, 7-11 March 2004.
- [117] Min R., Chandrakasan A., A Framework for Energy-scalable Communication in High-density Wireless Networks, *ACM 2002 International Symposium on Low Power Electronics and Design*, Monterey, CA, 12-14 August 2002.
- [118] Zhou Y., Ngai E. C. H., Lyu M. R., J. Liu, Power-speed: A Power-controlled Real-time Data Transport Protocol for Wireless Sensor-Actuator Networks, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Hong Kong, 11-15 March 2007.
- [119] Wu K., Gao Y., Li F., Xiao Y., Lightweight Deployment-aware Scheduling for Wireless Sensor Networks, *Springer Mobile Networks and Applications*, 2005, **10**(6), 837-852.

- [120] Wang L., Xiao Y., A Survey of Energy-efficient Scheduling Mechanisms in Sensor Networks, *Kluwer Academic Publishers Mobile Networks and Applications*, 2006, **11**(5), 723-740.
- [121] Chachra S., Marefat M., Distributed Algorithms for Sleep Scheduling in Wireless Sensor Networks, *2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Orlando, FL, USA, 15-19 May 2006.
- [122] Jain S., Srivastava S., A Survey and Classification of Distributed Scheduling Algorithms for Sensor Networks, *IEEE International Conference on Sensor Technologies and Applications*, Valencia, Spain, 14-20 October 2007.
- [123] Tian Y., Ekici E., Cross-Layer Collaborative In-Network Processing in Multi-Hop Wireless Sensor Networks, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2007, **6**(3), 297-310.
- [124] Perillo M., Heinzelman W. B., Providing Application QoS Through Intelligent Sensor Management, *First IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications*, Los Angeles, CA, USA, 11-12 May 2003.
- [125] Meguerdichian S., Koushanfar F., Qu G., Potkonjak M., Exposure in Wireless Ad-hoc Sensor Networks, *7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, Rome, Italy, 16-21 July 2001.
- [126] Meguerdichian S., Koushanfar F., Potkonjak M., Srivastava M., Coverage Problems in Wireless Ad-Hoc Sensor Networ, *IEEE International Conference on Computer Communications*, Anchorage, Alaska, USA, 22-26 April 2001.
- [127] Iyer R., Kleinrock L., QoS Control for Sensor Networks, *IEEE International Conference on Communications*, Anchorage, Alaska, USA, 11-15 May 2003.
- [128] Frolik J., QoS Control for Random Access Wireless Sensor Networks, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Atlanta, Georgia, USA, 21-25 March 2004.
- [129] Adlakha S., Ganeriwal S., Schurgers C., Srivastava M. B., Density, Accuracy, Delay and Lifetime Tradeoffs in Wireless Sensor Networks- A Multidimensional Design Perspective, *1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, Los Angeles, CA, USA, 5-7 November 2003.
- [130] Braden B., Clark D., Shenker S., Integrated services in the internet, IETF, <http://www.ietf.org/rfc/rfc1633.txt>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [131] Blake S., Black D., Carlson M., Davies E., Wang Z., Weiss W., An architecture for differentiated services, IETF, <http://www.ietf.org/rfc/rfc2475.txt>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [132] Intanagonwiwat C., Govindan R., Estrin D., Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks, *ACM 6th Annual*

International Conference on Mobile Computing and Networking, Boston, MA, 6-11 August 2000.

- [133] Sohrabi K., Gao J., Ailawadhi V., Pottie G. J., Protocols for Self-organization of a Wireless Sensor Network, *IEEE Personal Communications*, 2000, **7**(5), 16-27.
- [134] Chen D., Varshney P. K., QoS Support in Wireless Sensor Networks: A Survey, *International Conference on Wireless Networks*, Las Vegas, 21-24 June 2004.
- [135] Xia F., QoS Challenges and Opportunities in Wireless Sensor/Actuator Networks, *International Molecular Diversity Preservation Sensors*, 2008, **8**(2), 1099-1110.
- [136] Zhaohua L., Meijun S., Research on Quality of Service in Wireless Sensor Networks, *IEEE 2nd International Conference on Information Engineering and Computer Science*, Wuhan, China, 25-26 December 2010.
- [137] Lin F., Zhang D. Y., Research on Quality of Service in Wireless Sensor Networks, *IEEE 2nd International Conference on Software Engineering and Service Science*, Beijing, China, 15-17 June 2011.
- [138] Chen J., Diaz M., Llopis L., Rubio B., Troya J. N., A Survey on Quality of Service Support in Wireless Sensor and Actor Networks: Requirements and Challenges in the Context of Critical Infrastructure Protection, *Elsevier Journal of Network and Computer Applications*, 2011, **34**(4), 1225-1239.
- [139] Younis M., Akkaya K., Eltoweissy M., Wadaa A., On handling QoS traffic in Wireless Sensor Networks, *IEEE 37th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, Big Island, Hawaii, USA, 5-8 January 2004.
- [140] Bhatnagar S., Deb B., Nath B., Service Differentiation in Sensor Networks, *4th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*, Aalborg, Denmark, 9-12 September 2001.
- [141] He T., Stankovic J. A., Lu C., Abdelzaher T., SPEED: A Stateless Protocol for Real-time Communication in Sensor Networks, *23rd IEEE International Conference on Distributed Computing Systems*, Providence, Rhode Island, USA, 19-22 May 2003.
- [142] Deb B., Bhatnagar S., Nath B., ReInForM: Reliable Information Forwarding Using Multiple Paths in Sensor Networks, *28th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks*, Bonn, Germany, 20-24 October 2003.
- [143] Akkaya K., Younis K. M., An Energy-aware QoS Routing Protocol for Wireless Sensor Networks, *IEEE 23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*, Providence, Rhode Island, USA, 19-22 May 2003.

- [144] Jain N., Madathil D. K., Agrawal D. P., Exploiting Multi-path Routing to Achieve Service Differentiation in Sensor Networks, *11th IEEE International Conference on Networks*, Atlanta, Georgia, USA, 4-7 November 2003.
- [145] Savidge L., Lee H., Aghajan H., Goldsmith A., QoS-based Geographic Routing for Event-driven Image Sensor Networks, *2nd International Conference on Broadband Networks*, Boston, MA, USA, 3-7 October 2005.
- [146] Tang S., Li W., QoS Supporting and Optimal Energy Allocation for a Cluster Based Wireless Sensor Network, *Elsevier Computer Communications*, 2006, **29**(13), 2569-2577.
- [147] Gao Q., Blow K. J., Holding D. J., Marshall I. W., Peng X. H., Radio Range Adjustment for Energy Efficient Wireless Sensor Networks, *Elsevier Ad Hoc Networks*, 2006, **4**(1), 75-82.
- [148] Zhu J., Papavassiliou S., Yang J., Adaptive Localized QoS-constrained Data Aggregation and Processing in Distributed Sensor Networks, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2006, **17**(9), 923-933.
- [149] Tai S., Benkoczi R. R., Hassanein H., Akl S. G., QoS and Data Relaying for Wireless Sensor Networks, *Elsevier Journal of Parallel and Distributed Computing*, 2007, **67**(5), 715-726.
- [150] Lan Y., Wenjing W., Fuxiang G., A Real-time and Energy Aware QoS Routing Protocol for Multimedia Wireless Sensor Networks, *IEEE 7th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Chongqing, China, 25-27 June 2008.
- [151] Zhang L., Hauswirth M., Shu L., Zhou Z., Reynolds V., Han G., Multi-priority Multi-path Selection for Video Streaming in Wireless Multimedia Sensor Networks, *Springer 5th Ubiquitous Intelligence and Computing Conference*, Oslo, Norway, 23-25 June 2008.
- [152] Li Y., Chen C. S., Song Y. Q., Wang Z., Sun Y., Enhancing Real-time Delivery in Wireless Sensor Networks with Two-hop Information, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2009, **5**(2), 113-122.
- [153] Akbas M. I., Turgut D., Lightweight Routing with QoS Support in Wireless Sensor and Actor Networks, *IEEE Global Telecommunications Conference*, Miami, FL, USA, 6-10 November 2010.
- [154] Medjiah S., Ahmed T., Asgari A. H., Streaming Multimedia over WMSNs: An Online Multipath Routing Protocol, *Inderscience International Journal of Sensor Networks*, 2012, **11**(1), 10-21.
- [155] Cao X., Wang R. C., Huang H. P., Sun L. J., Xiao F., Multi-Path Routing Algorithm for Video Stream in Wireless Multimedia Sensor Networks, *Chinese Academy of Sciences Ruanjian Xuebao (Journal of Software)*, 2012, **23**(1), 108-21.

- [156] Kumar V. N., Sankar K. S., Rao L. S., Prabha I. S., Comparative Analysis of QoS-Aware Routing Protocols for Wireless Sensor Networks, *Innovative Systems Design and Engineering*, 2012, **3**(3), 100-104.
- [157] Ehsan S., Hamdaoui B., A survey on energy-efficient routing techniques with QoS assurances for wireless multimedia sensor networks, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2012, **14**(2), 265-278.
- [158] Caccamo M., Zhang L. Y., Sha L., Buttazzo G., An Implicit Prioritized Access Protocol for Wireless Sensor Networks, *23rd IEEE Real-Time Systems Symposium*, Austin, TX, UA, 3-5 December 2002.
- [159] Zhao Q., Tong L., QoS Specific Medium Access Control for Wireless Sensor Networks with Fading, *Eighth International Workshop on Signal Processing for Space Communications*, Catania, Italia, 24-26 November 2003.
- [160] Liu Y., Elhanany I., Qi H., An energy-efficient QoS-aware media access control protocol for wireless sensor networks, *IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference*, Washington, USA, 7-10 November 2005.
- [161] Liu Z., Elhanany I., RL-MAC: A QoS-aware Reinforcement Learning Based MAC Protocol for Wireless Sensor Networks, *2006 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, Ft Lauderdale, Florida, USA, 23-25 April 2006.
- [162] Rango F. De, Panzarella A., Marano S., Controlled Interference Mitigation MAC for UWB Networks with Quality of Service Support, *IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems*, Pisa, Italy, 8-11 October 2007.
- [163] Kwang-Jin P., Jongwan K. I. M., Ui-Sung S., Hwang C. S., Priority-based Medium Access Control Protocol for Providing QoS in Wireless Sensor Networks, *The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Transactions on Information and Systems*, 2007, **90**(9), 1448-1451.
- [164] Saxena N., Roy A., Shin J., Dynamic Duty Cycle and Adaptive Contention Window Based QoS-MAC Protocol for Wireless Multimedia Sensor Networks, *Elsevier Computer Networks*, 2008, **52**(13), 2532-2542.
- [165] Li C., Wang P., Chen H. H., Guizani M., A Cluster Based On-demand Multi-Channel MAC Protocol for Wireless Multimedia Sensor Networks, *IEEE International Conference on Communications*, Beijing, China, 19-23 May 2008.
- [166] Koubaa A., Severino R., Alves M., Tovar E., Improving Quality-of-Service in Wireless Sensor Networks by Mitigating Hidden-Node Collisions, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2009, **5**(3), 299-313.
- [167] Fard G. H. E., Yaghmaee M. H., Monsefi R., An Adaptive Cross-layer Multichannel QoS-MAC Protocol for Cluster Based Wireless Multimedia

- Sensor Networks, *IEEE International Conference on Ultra Modern Telecommunications & Workshops*, St. Petersburg, Russia, 12-14 October 2009.
- [168] Yigitel M. A., Incel O. D., Ersoy C., QoS-aware MAC Protocols for Wireless Sensor Networks: A survey, *Elsevier Computer Networks*, 2011, **55**(8), 1982-2004.
- [169] Yang X., Vaidya N. H., A Wakeup Scheme for Sensor Networks: Achieving Balance Between Energy Saving and End-to-end delay, *10th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium*, King Edward, Toronto, Canada, 25-28 May 2004.
- [170] Zhou L., Wang X., Tu W., Muntean G. M., Geller B., Distributed Scheduling Scheme for Video Streaming over Multi-channel Multi-radio Multi-hop Wireless Networks, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2010, **28**(3), 409-419.
- [171] Ouferrhat N., Mellouk A., A QoS Scheduler Packets for Wireless Sensor Networks, *IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications*, Amman, Jordan, 13-16 May 2007.
- [172] Yaghmaee M. H., Adjero D., A Model for Differentiated Service Support in Wireless Multimedia Sensor Networks, *IEEE International Conference on Computer Communications and Networks*, St. Thomas, Virgin Islands, USA, 3-7 August 2008.
- [173] Peterson N., Anusuya-Rangappa L., Shirazi B. A., et al., Tinyos-based Quality of Service Management in Wireless Sensor Networks, *IEEE 42nd Hawaii International Conference on System Sciences*, Waikola, Big Island, Hawaii, 7-10 January 2009.
- [174] URL-30: <http://www.snm.ethz.ch/snmwiki/Projects/Crossbow-MICA2BasicSensorModuleMTS101>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [175] Koucheryavy A., Prokopiev A., Quality of Service (QoS) Classes for Ubiquitous Sensor Networks, *IEEE 11th International Conference on Advanced Communication Technology*, Gangwon-Do, South Korea, 15-18 February 2009.
- [176] Lu C., Blum B. M., Abdelzaher T. F., Stankovic J. A., He T., Rap: A Real-time Communication Architecture for Large-scale Wireless Sensor Networks, *Eighth IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium*, San Jose, CA, USA, 24-27 September 2002.
- [177] Felemban E., Lee C. G., Ekici E., Boder E. R., Vural S., Probabilistic QoS Guarantee in Reliability and Timeliness Domains in Wireless Sensor Networks, *24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, Miami, FL, USA, 13-17 March 2005.

- [178] Felemban E., Lee C. G., Ekici E., MMSPEED: Multipath Multi-SPEED Protocol for QoS Guarantee of Reliability and Timeliness in Wireless Sensor Networks, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2005, **5**(6), 738-754.
- [179] URL-31: <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=4040913>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [180] Ruzzelli A. G., O'Hare G. M. P., O'Grady M. J., Tynan R., MERLIN: A Synergetic Integration of MAC and Routing Protocol for Distributed Sensor Networks, *3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, Reston, VA, USA, 25-28 November 2006.
- [181] Hefeida M. S., Canli T., Khokhar A., CL-MAC: A Cross-Layer MAC Protocol for Heterogeneous Wireless Sensor Networks, *Elsevier Ad Hoc Networks*, 2012, 20013, **11**(1), 213-225.
- [182] Shanti C., Sahoo A., DGRAM: A Delay Guaranteed routing and MAC protocol for wireless sensor networks, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2010, **9**(10), 1407-1423.
- [183] Melodia T., Akyildiz I. F., Cross-layer QoS-aware Communication for Ultra Wide Band Wireless Multimedia Sensor Networks, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2010, **28**(5), 653-663.
- [184] Shah G. A., Liang W., Shen X., Cross-layer Design for QoS Support in Wireless Multimedia Sensor Networks, *IEEE Global Telecommunications Conference*, Miami, FL, USA, 6-10 December, 2010.
- [185] Shah G., Liang W., Akan O., Cross-layer Framework for QoS Support in Wireless Multimedia Sensor Networks, *IEEE/ACM Transactions on Multimedia*, 2012, **14**(5), 1442-1455.
- [186] Lu G., Krishnamachari B., Minimum Latency Joint Scheduling and Routing in Wireless Sensor Networks, *Elsevier Ad Hoc Networks*, 2007, **5**(6), 832-843.
- [187] Karp B., Kung H-T., GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks, *6th annual international conference on Mobile computing and networking*, Boston, MA, USA, 6-11 August 2000.
- [188] Ko Y. B., Vaidya N. H., Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks, *Springer Wireless Networks*, 2000, **6**(4), 3007-3021.
- [189] URL-32: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [190] URL-33: http://nslam.isi.edu/nslam/index.php/Main_Page, (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [191] Chen D., Varshney P. K., A Survey of Void Handling Techniques for Geographic Routing in Wireless Networks, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2007, **9**(1), 50-67.

- [192] Leong B., Mitra S., Liskov B., Path Vector Face Routing: Geographic Routing with Local Face Information, *13th IEEE International Conference on Network Protocols*, Boston, MA, USA, 6-9 November 2005.
- [193] Urrutia J., Local Solutions for Global Problems in Wireless Networks, *Journal of Discrete Algorithms*, 2007, **5**(3), 395-407.
- [194] Fraser M., Kranakis Urrutia E., J., J, Memory Requirements for Local Geometric Routing and Traversal in Digraphs, *Canadian Conference on Computational Geometry*, Montreal, Canada, 13-15 August 2008.
- [195] Demir A. K., Demiray H. E., Baydere S., XLCM: Xross-layer Communication Module for Service Differentiation in Wireless Sensor Networks, *7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, Istanbul, Turkey, 4-8 July 2011.
- [196] Irgan K., Unsalan C., Baydere S., Priority Encoding of Image Data in Wireless Multimedia Sensor Networks for Border Surveillance, *25th International Symposium on Computer and Information Sciences*, London, UK, 22-24 September 2010.
- [197] Albanese A., Blomer J., Edmonds J., Luby M., Sudan M., Priority Encoding Transmission, *IEEE Transactions on Information Theory*, 1996, **42**(6), 1737-1744.
- [198] Lecuire V., Duran-Faundez C., Krommenacker N., Energy-efficient Transmission of Wavelet-based Images in Wireless Wensor Networks, *Hindawi Publishing Corporation Eurasip Journal on Image and Video Processing*, 2007, **1**(1), 15-25.
- [199] Lee D. U., Kim H., Rahimi M., Estrin D., Villasenor J. D., Energy-efficient Image Compression for Resource-constrained Platforms, *IEEE Transactions on Image Processing*, 2009, **18**(9), 2100-2113.
- [200] Kaddachi M. L., Soudani A., Lecuire V., Torki K., Makkaoui L., Moureaux J. M., Low Power Hardware-based Image Compression Solution for Wireless Camera Sensor Networks, *Elsevier Computer Standards & Interfaces*, 2012, **34**(1), 14-23.
- [201] Xiong Z., Liveris A. D., Cheng S., Distributed Source Coding for Sensor Networks, *IEEE Signal Processing Magazine*, 2004, **21**(5), 80-94.
- [202] Girod B., Aaron A. M., Rane S., Rebollo-Monedero D., Distributed Video Coding, *Proceedings of the IEEE*, 2005, **93**(1), 71-83.
- [203] Wu M., Chen C. W., Collaborative Image Coding and Transmission over Wireless Sensor Networks, *Hindawi Publishing Corporation Eurasip Journal on Advances in Signal Processing*, 2006, **1**(1), 223-236.
- [204] Wang W., Peng D., Wang H., Sharif H., Chen H. H., Energy Efficient Multirate Interaction in Distributed Source Coding and Wireless Sensor

Network, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Hong Kong, 11-15 March 2007.

- [205] Zhuo X., Loo J., Cosmas J., Yip A., Distributed Video Coding in Wireless Multimedia Sensor Network for Multimedia Broadcasting, *World Scientific and Engineering Academy and Society Transactions on Communications*, 2008, **7**(5), 418-427.
- [206] Slepian D., Wolf J., Noiseless Coding of Correlated Information Sources, *IEEE Transactions on Information Theory*, 1973, **19**(4), 471-480.
- [207] Wyner A., Ziv J., The Rate-distortion Function for Source Coding with Side Information at the Decoder, *IEEE Transactions on Information Theory*, 1976, **22**(1), 1-10.
- [208] URL-34:
http://pascallin.ecs.soton.ac.uk/challenges/VOC/databases.html#VOC_2005_1,
(Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2013).
- [209] Oliva A., Torralba A., Modeling the Shape of the Scene: A Holistic Representation of the Spatial Envelope, *Springer International Journal of Computer Vision*, 2001, **42**(3), 145-175.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] **Demir A. K.**, Demiray H. E., Baydere S., QoS MOS: Cross-layer QoS Architecture for Wireless Multimedia Sensor Networks, *Springer Wireless Networks Journal*, DOI: 10.1007/s11276-013-0628-3.
- [2] **Demir A. K.**, Irgan K., Baydere S., Demiray H. E., Transmitting Objects in Images with Service Differentiation Based Source Coding in Wireless Sensor Networks, *9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC) '13*, Cagliari, Sardinia, Italy, 1-5 July 2013.
- [3] **Demir A. K.**, Demiray H. E., Baydere S., XLCM: Xross-layer Communication Module for Service Differentiation in Wireless Sensor Networks, *7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC) '11*, İstanbul, Turkey, 4-8 July 2011.
- [4] **Demir A. K.**, Küçük K., Kavak A., Software Synthesis and Development Environments for Embedded Sensor Networks, *International Informatics Congress (Biltek) '05*, Eskişehir, Turkey, 10-12 June 2005.
- [5] Duru N., **Demir A. K.**, Gok O., Yazici S., Bilgisayar Mühendisliği Eğitimi İçin Ders Müfredatı, *Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendislikleri Eğitimi 2. Ulusal Sempozyumu (EEB) '05*, Samsun, Türkiye, 25-27 Mayıs 2005.
- [6] Czajkowski K., **Demir A. K.**, Kesselman C., Thiébaux M., Practical Resource Management for Grid-Based Visual Exploration, *10th IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC) '01*, San Fransisco, CA, USA, 7-9 August 2001.
- [7] Baydere S., **Demir A. K.**, A Critique on Mach: Distributed Operating System, *Turkey Unix Users Group (TRUUG) Open Systems'95*, İstanbul, Turkey, 1-4 February 1995.

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Malatya’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Hatay’da tamamladı. 1988 yılında girdiği Hacettepe Üniversitesi Bilgisayar Bilimleri Mühendisliği Bölümü’nden 1993 yılında lisans diploması aldı. 1993-1995 yılları arasında Marmara Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalıştı ve yüksek lisans çalışmalarını sürdürdü. 1998 yılında Amerika Birleşik Devletleri, California, Los Angeles’da bulunan University of Southern California (USC)’den yüksek lisans diplomasını aldı. 1998-2001 yılları arasında University of Southern California’da doktora çalışmalarını yürüttü. Aynı yıllar arasında USC Brain Project (Beyin Projesi), USC Information Science Institute (ISI)’da X-Bone Overlay Networks Projesi ve USC Globus Projesi’nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2002-2003 yılları arasında Ankara Etimesgut Zırhlı Birlikler Okulu ve Eğitim Tümen Komutanlığı’nda Tankçı Asteğmen ve Ankara Etlik Kara Kuvvetleri Lojistik Komutanlığı’nda Ordu Bilgi İşlem (OBİ) subayı olarak görev yaptı. 2001-2002 ve 2002-2009 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü’nde öğretim görevlisi olarak çalıştı. 2009-2012 yılları arasında Huawei Telecommunications’da Uzman Yazılım ve Araştırma Mühendisi olarak Akıllı arama projesinin proje liderliğini yaptı. 2006 yılından bu yana Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği’nde doktora çalışmalarını yürütmektedir.